

العناصر المناخية و التصميم المعماري

الدكتور سعيد عبد الرحيم سعيد بن عوف

جامعة الملك سعود
النشر العلمي و المطابع

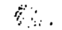


قال تعالى:

« وَ قُل ربِّ زدْنــي علمًا»

«صدق الله العظيم»

العناصر المناخية والتصميم المعماري



تأليف

الدكتور سعيد عبد الرحيم سعيد بن عوف
أستاذ العمارة وعلوم البناء
كلية العمارة والتخطيط - جامعة الملك سعود



النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود
ص.ب ٢٤٥٤ الرياض ١١٤٥١ - المملكة العربية السعودية

ⓒ جامعة الملك سعود، ١٤١٨هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

عوف، سعيد عبدالرحيم سعيد

العناصر المناخية والتصميم المعماري .ـ الرياض.

٢٤٠ ص ١٧ × ٢٤ سم

ردمك ٩-٦٦١-٠٥-٩٩٦٠

١-هندسة الإنشاءات ٢-التصميم المعماري

٣-المباني - مواصفات أ-العنوان

ديوي ٦٩٢ ١٨/٢٣٩٣

رقم الإيداع: ١٨/٢٣٩٣

ردمك: ٩-٦٦١-٠٥-٩٩٦٠

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة شكلها المجلس العلمي وقد وافق على نشره في اجتماعه التاسع عشر للعام الدراسي ١٤١٤/ ١٤١٥هـ الذي عقد بتاريخ ٣/ ١/ ١٤١٥هـ الموافق ١٢/ ٦/ ١٩٩٤م.

مطابع جامعة الملك سعود

شكر وتقدير

الشكر والتقدير لكل من أسهم في هـذا العمل المتـواضع بصـورة مباشـرة أو غـير مباشـرة. الشـكر موصـول إلى سـعادة الـدكتور خـالد بن عـبدالـله المقـرن عـميـد كلية العـمارة والتخطيط، وسـعادة الدكتور إبـراهيـم الـجويـر وكيـل الكلية، وسـعادة مدير الشـؤون الإداريـة الأخ سـليمان الهديـان لإتاحتهم الفرصـة للاسـتفادة من الأجـهزة والمعـدات الخـاصة بالكليـة. والـشـكـر والتـقديـر والامتنان إلى أسـرة مـركز البـحوث بكليـة العمـارة والتخطيط ممثلة في مـديرهـا سـعادة الدكتـور سـلمان السـديري ونائـبه المهندس محـمد المديميغ لمسـاعدتهم القيـمة في الطبـاعة والتصـوير. والشـكر موصـول إلى كل الزمـلاء الذين أسهموا بآرائهم وأفـكارهم ودعمـهم المعنـوي الذي كان له أبلغ الأثـر. والشـكر والتقـديـر إلى كل قـارىء يـقوم بـمراجعة هـذا الكتـاب ويـقدم النـصح المفيـد والنقـد البـنـاء والهـادف، من أجـل المصـلحة العامة.

والله الموفق

المؤلف

تمهيد

هذا الكتاب محاولة متواضعة من المؤلف لجمع المعلومات والدراسات التي تعنى بأساسيات التصميم المناخي . فيعنى بدراسة العناصر المناخية الرئيسية وأثرها على التصميم المعماري، ومتطلبات الراحة الحرارية للإنسان. والهدف الأساسي من هذا الكتاب هو أن تكون المادة التي يحتويها في متناول طلبة العمارة بالجامعات العربية عامة، وجامعات المملكة العربية السعودية خاصة. ولجعل المعلومات سهلة وواضحة كانت محاولة استعمال التعابير المبسطة إضافة إلى الرسومات التوضيحية.
ولقد اعتمد الكتاب على العديد من المؤلفات، والمراجع، والمنشورات التي لها علاقة بالموضوع، وقد تم رصدها في قائمة المراجع. وبما أنّ معظم المراجع المتوافرة حاليا كُتبت باللغة الإنجليزية، فقد كانت هنالك صعوبات جمة في ترجمة الكثير من المصطلحات إلى اللغة العربية. ولمساعدة القارىء العربي كان لا بد من إضافة قائمة تشرح معاني المصطلحات المهمة والتي يصعب شرحها في كلمة أو كلمتين. ولتحقيق هذه الغاية فقد تمت الاستعانة بعدد من قواميس اللغة العربية المتخصصة، وبعض المراجع العربية، وبعض زملائي أساتذة كلية العمارة والتخطيط. وعلى الرغم من المحاولات الجادة، لا يزال هنالك قصور واضح في هذا المجال، والذي نأمل أن يزول بتضافر جهود كل الاختصاصيين في مجال العمارة والتخطيط، والهندسة، وتقنية المباني، واللغة العربية. . . .الخ.

وفي الختام لا بد من التنويه هنا إلى أن هذه هي المحاولة الأولى لإخراج هذا

الكتاب، والذي دون شك يحتوي على نقص هنا وقصور هناك. وإني أستسمح القاريء عن هذا النقص وذلك القصور. وفي سعينا الحثيث نحو الأفضل فإني أقدمها دعوة صادقة إلى جميع الباحثين، وأساتذة الجامعات، والمعماريين، وكل من له اهتمام بموضوع هذا الكتاب ألا يبخلوا علينا بآرائهم الهادفة ومقترحاتهم البناءة والتي سوف تجد كل عناية واهتمام.

المؤلف

المقدمة

لاشك أن للمناخ الطبيعي دوره الأساسي في حياة الإنسان. ومنذ أن خلق الله سبحانه وتعالى الإنسان وهو يبحث عن المأوى المناسب والذي يوفر له متطلباته المختلفة ومنها المناخ الملائم الذي يساعده على أداء نشاطاته اليومية على أكمل وجه. وبمرور الزمن تطورت حياة الإنسان ونمت المجتمعات الحضرية وانتشرت المجمعات السكنية وازدادت متطلبات الحياة نتيجة لهذا التطور، وصار الإنسان يهتم ببناء المستشفيات والمصانع والمدارس والأسواق التجارية والمكاتب والأماكن الترفيهية والخدمات الأخرى. وبعد أن كان الإنسان يستعمل المواد التقليدية التي عرفها وتمرس في استعمالاتها وتفهم خصائصها الإنشائية والحرارية ومتطلباتها من الصيانة والنظافة، قدمت التقنية الحديثة مواد أخرى كثيرة ومختلفة لم يتوافر الوقت الكافي لتجربتها، ومثال ذلك الوحدات السابقة الصب أو السابقة التجهيز precast panels من الخرسانة المسلحة أو الصوف الزجاجي أو الجبس. . . وغيرها والأنواع الحديثة من الزجاج والبلاستيك. وكان لهذه المواد الحديثة أثرها الكبير ودورها المهم في الأداء الحراري للمباني في عهدنا الحاضر. ونظرا لتوافر الطاقة في العديد من البلدان العربية التي خصها سبحانه وتعالي بثروات بترولية هائلة فقد اعتمدت أغلب المباني اعتمادًا كليا على التكييف الميكانيكي للبيئة الداخلية. وللأسف اقتصر دور كثير من المهندسين المعماريين على تصميم المبنى في حين أن المهندس الميكانيكي يقوم بتحديد احتياجات المباني الحرارية و ما يرتبط بها من معدات وأجهزة وتجهيزات التكييف الميكانيكي وهو الأمر الذي يحتاج إلى تقويم. لاشك أن هذه نظرة خاطئة، إذ لابد للمهندس المعماري أن يؤدي دوره كاملاً، من خلال الدراسة والتحليل المتقن لكل العوامل والعناصر المناخية التي تؤثر على المبنى

وتتفاعل معه، وبالتالي تحدد مستوى أدائه الحراري. وعلى ضوء هذه الدراسات يمكن للمعماري التوصل للقرارات التصميمية المناسبة والتي تؤدي إلى التصميم الذي يحترم المناخ الخارجي ويتفاعل معه ويستفيد من خصائصه، ويساعد في تخفيض كلفة التحكم الميكانيكي في المناخ الداخلي أو إلغائها نهائيا.

يتفاعل المبنى مع المناخ الخارجي، ونتيجة لهذا التفاعل يتحدد المناخ الداخلي وبالتالي تتحدد نوعية المعالجة التي يحتاجها المبنى لتوفير المناخ الملائم لحياة الإنسان. يعتمد تفاعل المبنى مع المناخ المحيط به على عدة عوامل أهمها تنسيق الفراغات المحيطة بالمبنى، وشكل المبنى وتشكيله، وتوجيه المبنى، والألوان الخارجيه لغلاف المبنى، والخصائص الحرارية للمواد المستعملة والفتحات؛ مساحتها وموقعها وشكلها. وهنالك الكثير من الدروس والحلول المعمارية الجيدة التي تجمعت عبر التاريخ والتي عكست ملاءمة العمارة التقليدية للمناخ. ويمكن القول إن التصميم المعماري الذي يعالج خصائص العناصر المناخية ويتفاعل معها هو أحد الوسائل الفعَّالة في تحقيق الراحة الحرارية والتي تساعد أيضا على ترشيد استهلاك الطاقة في المباني. ويعد غلاف المبنى الخارجي بمثابة خط الدفاع الأول تجاه تأثيرات المناخ الخارجي. ويمكن للمعماري، من خلال الاستعانة بنتائج الدراسات المناخية للموقع، أن يقوم بالتصميم الملائم الذي يساعد في تقليل الاعتماد على التكييف الميكانيكي وذلك بالاستفادة من العوامل الطبيعية للمناخ. إن تخفيض استهلاك الطاقة التي يحتاجها المبنى من أجل تكييف المناخ الداخلي وعلى المدى البعيد يجعل التصميم المعماري الذي يهتم بالخصائص المناخية ويستفيد من الطاقة الطبيعية، أحد البدائل لتخفيض تكلفة استخدام المبنى. إن معظم الحلول التصميمية التي تحترم العناصر المناخية قليلة التكلفة و لا تحتاج إلا لحنكة ومقدرة المصمم المعماري في تفهم هذه العناصر ومن ثمّ اختيار الحلول التصميمية المناسبة لها.

إن التصميم المعماري الذي يلائم المناخ المحيط ويساعد في تخفيض استهلاك الطاقة له أيضا العديد من الفوائد، ومن أهمها أن المبنى الذي يوفر الراحة الحرارية للإنسان بالوسائل الطبيعية يفوق مثيله الذي يعتمد على التكييف الميكانيكي، من مناظير الصحة الفسيولوجية والنفسية إذ يربط الإنسان بالمناخ الخارجي ويوفر له

الراحة النفسية التي قد يفقدها بانغلاقه داخل مبنى معزول تماما عن الطبيعة الخارجية ويعتمد اعتمادا كليا على الإنارة الاصطناعية والتكييف الميكانيكي. وهنالك العديد من الحلول التصميمية التي لها مفعول كبير في تحسين الأداء الحراري للمبنى والتي سوف نتعرض لها في هذا الكتاب.

المؤلف



المحتويات

الصفحة

الصفحة

الفصل الثاني: المناخ والإنسان

الصفحة

الفصل الثالث: الخصائص الحرارية لمواد البناء

الفصل الرابع: التظليل وكاسرات الشمس

الفصل الخامس: التهوية الطبيعية

الصفحة

قائمة الأشكال

رقم الشكل	العنـــــــــــوان	الصفحة

رقم الشكل	العنـــــــــــوان	الصفحة

رقم الشكل	العنـــــــــــوان	الصفحة

قائمة الجداول

رقم الجدول	العنوان	الصفحة
(١, ١)	معدلات الحرارة والرطوبة لمدينة الرياض	٣٦
(١, ٢)	منطقة الراحة الحرارية لبعض الأقطار	٦٠
(٢, ٢)	معدل إنتاج الحرارة نتيجة للتفاعل الحيوي	٦٦
(٢, ٣)	معامل العزل الحراري ونسبة التغطية للملابس	٦٩
(٣, ١)	معامل الامتصاص والانبعاث لبعض المواد والألوان	٨٢
(٣, ٢)	الخصائص الفيزيائية للزجاج العادي والملون والعاكس	٩٤
(٣, ٣)	معامل التوصيل الحراري للفراغات الهوائية	٩٦
(٣, ٤)	الموصلية الحرارية والكثافة والسعة الحرارية	٩٨
(٣, ٥)	حساب معامل انتقال الحرارة الكلي للحائط المجوّف	١١٢
(٣, ٦)	معامل مقاومة السطح الخارجي	١١٣
(٣, ٧)	معامل مقاومة السطح الداخلي	١١٣
(٣, ٨)	نماذج من المقاومة الحرارية للفراغات الهوائية	١١٥
(٣, ٩)	الخصائص الحرارية الفيزيائية لبعض مواد البناء	١١٦
(٣, ١٠)	معامل انتقال الحرارة الكلي للمباني السكنية	١١٦
(٤, ١)	كاسرات الشمس الثابتة والمتحركة وخصائصها	١٢٤
(٤, ٢)	الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية	١٥٢
(٤, ٣)	نصف القطر وبُعد مركز الأقواس	١٥٧
(٤, ٤)	بيانات الأقواس التي تمثل الزمن	١٥٧

رقم الجدول	العنوان	الصفحة

الفصل الأول

المناخ والتصميم

● عناصر المناخ الرئيسية ● الخصائص العامة للأقاليم المناخية في العالم ● الخصائص العامة للأقاليم المناخية في العالم العربي ● التصميم المناخي

(١,١) عناصر المناخ الرئيسية

يمثل علم المناخ climatology أحد أفرع الجغرافيا الطبيعية physical geography والتي تعنى بالظواهر البيئية التي ليس للإنسان دخل في تكوينها ونشأتها. تُعتبر أشعة الشمس من العناصر الأساسية في تكوين المناخ، ونتيجة لسقوط أشعة الشمس على المسطحات المائية واليابسة للأرض عبر الغلاف الجوي يحدث تنوع كبير في درجة حرارة الهواء الملامس للأجزاء المختلفة من سطح الأرض، ومن ثمّ يكون هنالك اختلاف كبير في مقدار الضغط الجوي واتجاه الرياح وسرعتها ودرجة حرارتها وكمية الأمطار الساقطة من جزء إلى آخر على سطح الأرض، ونتيجة لتنوع العناصر المناخية وتباينها climatic elements يتنوع المناخ من مكان لآخر.

بالإضافة إلى دوره الأساسي في تكوين التربة الأرضية، يؤثر المناخ على نمو النباتات وحياة الحيوان بشكل مباشر. ومن أهم هذه المؤثرات تلك التي تتعلق بحياة الإنسان ونشاطاته اليومية. لذلك كان ولايزال التحدي الأكبر بالنسبة للإنسان منذ بدء الخليقه محاولة التكيّف مع المناخ الطبيعي. وقد عمد الإنسان منذ وجوده على الأرض إلى عمل مأوى أو ملجأ خاص به يحميه من الحيوانات المفترسة ويساعده في التغلب على تقلبات المناخ المختلفة في محاولة منه لخلق البيئة الصالحة. وبمرور الزمن وتباين الحضارات ومع التقدم العلمي والتقني استطاع

الإنســان أن يتفهم الظواهر الطبيعية والبيئية وصفاتها الجــغرافية والمناخية، ومن ثم استطــاع تطوير مسكنه بما يوفر له المناخ الداخلي الملائم. وبتطــور الحــيــاة ومتطلباتها امتد اهــتمام الإنسان من المسكن ليشمل عناصر أخرى كالمــصــانــع والمستشفيات والمبــاني التعليمية. .الخ. ومن أجل الوصول إلى الحلول الإيجابية في التصميم المعماري بما يلائم المناخ، لابد من دراسة العناصر المناخيــة الــتــي تتفاعل مع الإنسان وتــؤثر على إحساسه بالحرارة، وتتفاعــل مع المبنى وتــؤثــر على أدائــه الحراري. ومن أهم العوامل المناخية التي تؤثر على الإنسان وتتفاعل مع المبنى:

١ ـ الإشعاع radiation .

٢ ـ درجة حرارة الهواء air temperature.

٣ ـ حركة الرياح air movement .

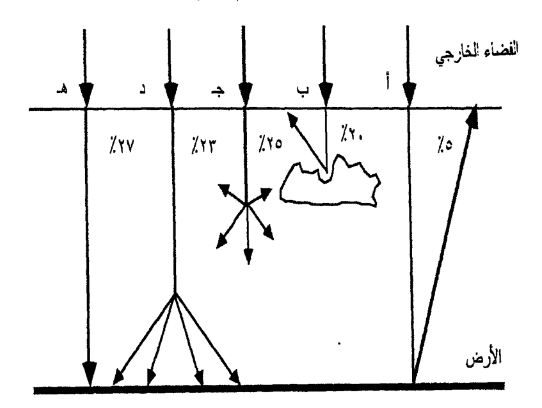
٤ ـ الرطوبة humidity.

(١,١,١) الإشعاع Radiation

إن أشعة الشمس تمثل أهم المصادر الرئيسية المباشــرة وغيــر المباشــرة لكل أنواع الطاقة الطبيعية على الأرض وهنالك مستويات مختلفة من الطاقة ترسلهــا الشمس بصورة مستمرة إلى سطح الأرض. ونــظــرًا لأن الكرة الأرضية محاطة بغلاف جوي يتكون من طبقات عديدة من الأكسجين والنيتروجين والهيدروجين وأنواع أخرى من المواد، فإنها تقوم بامتصاص بعض أنواع الطاقة المنبــعــثــة مــن الشمس وتمنعها من الوصول إلى الأرض. تُعتبر الشمس المصدر الرئيسي لحــرارة الغلاف الجوي، ويطلق على أشعة الشمس الصادرة من الشمس والمتجهة نــحــو الأرض اسم الإشعاع الشمســي solar radiation، وعندما تصل هذه الأشعة إلــى سطح الأرض ينعكس جزء منها مرة ثانية إلى الطبقات السفلى من الغلاف الجوي ويُطلق عليها في هذه الحالة اسم الإشعاع الأرضــي terrestial radiation. ويكون الإشعاع المنعكس في شكل أشعة ذات موجــات طــويــلــة longwave radiation وتنتقل الحرارة أيضا بواسطة تيارات الحَمْل الحرارية convection currents وعمليات التوصيل الحراري thermal conduction بواسطة المواد الموجودة في الغلاف الجوي كذرات الماء التي تساعد على امتصاص الحرارة. بالإضافة إلى هذه العوامل هنالك

الأثر الواضح لعمليات التبخـر evaporation والتكاثف condensation التي تؤدي إلى اختلاف درجة حرارة الهواء من مكان لآخر .

ينتقـل الإشعاع الحراري بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية من الشمـس إلى سطح الأرض، ولكن لايصل كل الإشعاع إلى الأرض بنفس قوته الأصـلية، حيث إن ٣٢ ٪ من الإشعـاع الشمسي ينعكس بواسطة السحب وينتشر إلى أعلى في الفضـاء الخـارجي عن طـريق الجزيئات الدقيقة المعلقة في الهواء، ونحو ٢٪ من أشعة الشمس هذه تنعكـس ثانية إلى الفضاء عند سقوطها عـلـى سـطـح الأرض. وهكذا تصل جملة هذه الأشعة المنعكسة إلى الفضاء الخارجي عن طريق السحب وسطح الأرض نحو ٣٤٪ من جملة أشعة الشمس. تخـتـرق أشـعـة الشمس طبقات الجو المحيطة بالأرض وينتج عنها طاقة حرارية تختلف في شدتها باختلاف المناطق والأقاليم الجغرافية. ففي المناطق التي تكسوها الغيوم الكثيفة تفقد أشعة الشمس جزءًا من طاقتها أثناء مرورها خلال طبقات الغيوم. أما إذا كانت السماء صافية، فإن أشعة الشمس تصل إلى سطح الأرض دون أن تفقد الكثير من طاقتها. إنّ قوة أشعة الشمس والطاقة الحرارية الناجمة عنها ترتبط بطول ساعات النهار ودرجة ميلها. إن أشعة الشمس المائلة تكون بطبيعة الحال أطول من الأشعة العموديـة أثـناء نفاذها خلال طبقات الجو المختلفة حتى وصولها إلى سطح الأرض، وهذا يتسبب في أنها تفقد طاقة حراريـة أكثر من الأشعة العموديـة. تبلغ شـدة الطاقـة الحرارية من أشعـة الشمس ذروتـها بالمنطقة الاستوائية حيث تـسـقـط عمودية أوشبه عمودية، وتقل كلما ابتعدنا عن المنطقة الاستوائية بسبب كبر زاوية السقوط، إلى أن تبلغ حدها الأدنى بالقطبين الشمالي والجنوبي. وحين تـصـل أشعة الشمس إلى سطح الأرض، تمـتص الأرض جزءًا من هذه الأشـعة بينما تعكـس الجزء الباقي بعيدًا عنها (شكل رقم ١ , ١). تعتمد الكمية التي يمتصها سطح الأرض من هذه الأشعة على الطبوغرافيا والغطاء الحضري، وهذا بدوره يؤدي إلى الاختلافات المناخية الواضحة ويتضح بصفة خاصة في درجات الحرارة التي تختلف في المنطقة الواحدة باختلاف التضاريس وعلاقتها بمستـوى سـطـح البحـر. فكلـما زاد ارتفـاع الأرض عن مستوى سـطح البحر انخفـضت درجة الحرارة.



(ا) نسبة الأشعة المنعكسة من سطح الأرض.
(ب) نسبة الأشعة المنعكسة من السحب.
(جـ) نسبة الأشعة التي يمتصها الغلاف الجوي.
(د) نسبة الأشعة المنشرة على سطح الأرض.
(هـ) نسبة الأشعة الساقطة مباشرة على سطح الأرض.

شكل رقم (١ , ١). الإشعاع الشمسي نحو الأرض.
المصدر: Koenigsberger *et al.* (1973). p. 8.

وينقسم الإشعاع إلى ثـلاثة أنواع (الشكل رقم ٢ , ١) هي (Critchfield, 1966)

(أ) الأشعة الحرارية .
(ب) الأشعة الضوئية .
(جـ) الأشعة البنفسجية وفوق البنفسجية .

(أ) الأشــعة الحــرارية

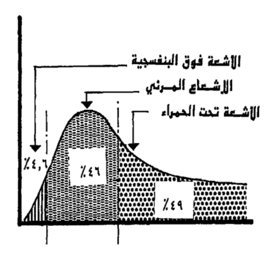
الأشعة الحرارية هي التي تعرف كذلك بالأشعة تحت الحمراء infra -red rays وهي أشعة ضمن الأشعة غير المرئية للطيف الكهرومغناطيسي electro-magnetic spectrum وتنتمي الأشعة الحرارية إلى مجموعة الأشعة ذات الموجات الطويلـة، حيث يتراوح طول موجتها من ٧٥, ٠ إلى ٠, ٤ ميكرونات (والميكرون هو وحدة قياس الموجات المتناهية الصغـر ١٠$^{-٦}$ مم)، وتقدر نسبتها بنحو ٤٩٪ من جملـة أشعة الشمس.

(ب) الأشعة الضوئية Sunlight rays

الأشعة الضوئية هي الأشعة المرئية والتي يتراوح طول موجتها من ٤, ٠ إلى ٧٤, ٠ ميكرون وتقدر نسبتها بنحو ٤٦٪ من جملة أشعة الشمس.

(جـ) الأشعة البنفسجية وفوق البنفسجية Violet and ultra-violet rays

الأشعة البنفسجية وفوق البنفسجية تعرف أحيانا باسم الأشعة الحيوية ولاتزيد نسبتها على ٦, ٤٪ من جملة أشعة الشمس، ويتراوح طول موجاتها من ١٧, ٠ إلى ٤, ٠ ميكرون.



شكل رقم (٢, ١). تقسيمات الإشعاع الشمسي.

المصدر: Crowther (1977). p. 43.

(٢, ١, ١) درجة حرارة الهواء Air temperature

تتسبب الأشعة الساقطة على سطح الأرض في ارتفاع درجة حرارة القشرة الأرضية، ومن ثمّ ترتفع درجة حرارة الهواء الملاصق لسطح الأرض فتقل كثافته نتيجة للتمدد فيرتفع إلى أعلى ليحل محله هواء أقل حرارة. تقاس درجة الحرارة باستخدام أنواع متعدده من المقاييس أوالميزان الحراري منها مايعرف باسم الميزان البسيط أو الجاف والميزان المزدوج ذو النهاية العظمى والنهاية الصغرى.

وقد تُقرأ درجات الحرارة بأي من النظامين المئوي أو الفهرنهيتي centigrade or fahrenheit . لسهولة قراءة الأحوال المناخية تقوم الجهات العاملة في مجال الأرصاد برصد وتسجيل القراءات المختلفة لعناصر المناخ وأهمها درجة حرارة الهواء، وسرعة الهواء، والرطوبة النسبية والضغط الجوي. ومن أهم هذه القراءات أو البيانات المناخية:

١ ـ المعدل الشهري لدرجة الحرارة monthly mean temperature.

٢ ـ المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوى monthly mean maximum temperature.

٣ ـ المعدل الشهري لدرجة الحرارة الدنيا monthly mean minimum temperature.

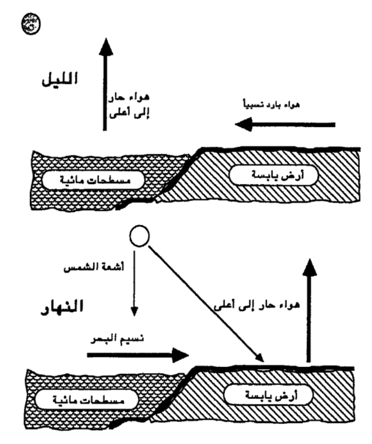
٤ ـ درجات الحرارة القصوى والدنيا maximum and minimum temperatures.

ولسهولة استيعاب وفهم هذه البيانات أو القراءات المناخية وغيرها من القياسات يتحتم على المهندس المعماري أن يقوم بإظهارها في شكل رسومات أو منحنيات بيانية .

(٣, ١, ١) حركة الرياح Wind movement

إن الرياح بأنواعها المختلفة تُعتبر أحد العناصر المؤثرة في تشكيل المناخ في مختلف المناطق. وحركة الرياح تأتي أساسًا نتيجة للفرق بين الضغط الجوي العالي والضغط الجوي المنخفض فيكون مسار الرياح من منطقة الضغط الجوي

العالي إلـى منطقة الضغط الجـوي المنخفض بصفة عـامة. كذلك فإن دوران الأرض حول محورها وحول الشمس، وتعرض نصفي الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي على التوالي أثناء السنة لأشعة الشمس المـباشرة، يؤديان إلى تغيير مسار حركة الرياح. وقد يـحدث بعض التغيير في اتجاه وسرعة الريـاح نتيجة للاختلافات الجـغرافيـة في تركيـب سـطح الأرض واليـابسة والمسطحات المائيـة والتضـاريس (شكل رقم ٣,١).



أثناء الليل ترتفع درجة حرارة الهواء التي تلامس المسطحات المائية فترتفع إلي أعلي فتحل محلها رياح باردة نسبياً تهب من إتجاه اليابسة.

أثناء النهار ترتفع درجة حرارة الهواء الملامسة لسطح اليابسة فترتفع إلي أعلي فتحل محلها رياح باردة نسبياً تهب من إتجاه البحار.

شكل رقم (٣,١). تباين حركة الرياح نتيجة لتباين درجات الحرارة.

(٤ . ١ . ١) الرطوبة Humidity

تُعتبر الرطوبة من العناصر المناخية المهمة التي لها أثرها في تكوين المناخ ومن ثمّ لها دورها المهم في تحديد إحساس الإنسان بالمناخ المحيط. يُعتبر بخار الماء في الجو العامل الرئيسي لحدوث مظاهر عمليات التكاثف، وفي اختلاف نسبة الرطوبة في الجو وفي تكوين السحب، والتساقط والرؤية. كما يؤثر بخار الماء وتكوين السحب في تنظيم الإشعاع الشمسي وحفظه في الطبقات السفلى من الغلاف الغازي بالقرب من سطح الأرض. يمتص بخار الماء بعض الإشعاع الشمسي الساقط عليه ثمّ يقوم بتوزيعه مرة ثانية إلى الهواء بعد حدوث عمليات التكاثف. وخلال عملية التبخر يصبح بخار الماء عاملا وسيطا في انتشار الحرارة الكامنة latent heat في الهواء، ومن ثمّ يلعب بخار الماء دوره في عمليات التبادل الحراري heat exchange. يهتم علماء المناخ والأرصاد الجوية بقياس كمية بخار الماء الموجود في الهواء وحساب الضغط الناتج عنه وذلك بعدة طرق منها:

١ ـ ضغط بخار الماء vapour pressure.

٢ ـ الرطوبة النوعية specific humidity.

٣ ـ الرطوبة المطلقه absolute humidity.

٤ ـ الرطوبة النسبية relative humidity.

١ ـ ضغط بخار الماء

يدل ضغط بخار الماء على الضغط الناتج عن بخار الماء في الهواء، ويتم التعبير عنه بنفس مقياس الضغط الجوي، اي المليبار. عندما يحتوي الهواء على كل بخار الماء الذي يمكن له أن يحمله (الرطوبة النسبية = ١٠٠٪) عند درجة حرارة معينة، وعند ضغط معين، يقال إن الهواء وصل إلي مرحلة التشبع ببخار الماء saturated، وإن الضغط الفعلي لبخار الماء يعادل ضغط بخار الماء في حالة التشبع، وفي درجة الحرارة نفسها. ويقال إن الهواء وصل إلى درجة حرارة نقطة الندى dew-point (Trewartha, 1954).

٢ ـ الرطوبة النوعية

هي النسبة بين وزن بخار الماء الممثل فعلاً في الهواء إلى وحدة معينة من

الهواء، أي أن:

$$\text{الرطوبة النوعية} = \frac{\text{وزن بخار الماء}}{\text{وزن الهواء}} = \frac{\text{ضغط بخار الماء}}{\text{الضغط الكلي للهواء}}$$

أي بمعنى أن كل كيلوجرام من الهواء به ١٢ جراما من بخار الماء، فإنّ رطوبته النوعية تكون ١٢ جراما لكل كيلوجرام (أبوالعينين، ١٩٨٥م).

٣ ـ الرطوبة المطلقة

الرطوبة المطلقة هي عبارة عن مقدار وزن بخار الماء الموجود بكل وحدة حجمية معينة من الهواء (أي جرام لكل متر مكعب) (أبوالعينين، ١٩٨٥م).

٤ ـ الرطوبة النسبية

الرطوبة النسبية هي النسبة المئوية بين مقدار بخار الماء الموجود فعلاً في وحدة حجم معينة من الهواء، وبين مقدار ما يمكن أن يتحمله هذا الحجم من الهواء ليصل إلى درجة التشبع في نفس درجة الحرارة والضغط. وبمعنى آخر هي عبارة عن النسبة المئوية بين الرطوبة المطلقة أو الكلية للهواء والرطوبة المطلقة لنفس حجم وحدة هذا الهواء عندما يصل إلى درجة التشبع دون أي تغيير في درجة حرارته ومقدار ضغطه (أبوالعينين، ١٩٨٥م).

(٢, ١) الخصائص العامة للأقاليم المناخية في العالم

إن من واجب المهندس المعماري أن يُلم ببعض المعلومات العامة عن المناخات المختلفة وأقسامها وخصائصها ومواقعها الجغرافية دون الخوض في التفاصيل الدقيقة. و لا بد من التعرف على الأقاليم المناخية الرئيسية الممثلة فعلاً على سطح الأرض. إن التفاعل بين أشعة الشمس المباشرة مع الغلاف الجوي المحيط بالكرة الأرضية وتنوع التضاريس وتوزيع اليابسة والمسطحات المائية يؤدي إلى وجود العديد من الاختلافات المناخية. ولكن هذا لايمنع من وجود بعض المناطق التي تتشابه في مناخها. ولابد من الإلمام الكامل بالتقسيمات المناخية المختلفة التي يكون انعكاسها واضحا على التصميم المعماري. إن الحدود الفاصلة بين المناطق المناخية المختلفة لايمكن تحديدها بالدقة الكاملة وذلك لأن هذه التقسيمات تتداخل

مع بعضها البعض. استنادا على الاختلافات في معدلات العناصر المناخية الرئيسية يمكن تقسيم الأقاليم المناخية إلى أربعة أقسام رئيسية تتبع كل منها أقسام فرعية (أبو العينين، ١٩٨٥ و Trewartha, 1954).

١ ـ المناخ الاستوائي.
٢ ـ المناخ المداري.
(أ) المناخ الحار الجاف الصحراوي.
(ب) المناخ الحار الرطب.
(جـ) المناخ المركب.
(د) المناخ المداري للمرتفعات.
٣ ـ المناخ المعتدل.
(أ) مناخ البحر الأبيض المتوسط.
(ب) المناخ المعتدل البحري.
(جـ) المناخ القاري.
(د) مناخ الحشائش المعتدلة.
٤ ـ المناخ القطبي.
(أ) المناخ البارد أو شبه القطبي.
(ب) المناخ القطبي.
(جـ) مناخ الغطاءات الثلجية.

(١,٢,١) المناخ الاستوائي

المناخ المداري الممطر والذي يُعرف أحيانا بالمناخ الاستوائي هو المناخ الذي يتسم بدرجات الحرارة العالية (Trewartha, 1954). إن التقسيمات الخاصة بالمناخ الاستوائي اعتمدت أساسًا على درجة حرارة الهواء ونسبة الرطوبة وكمية الأمطار والتي تمثل العوامل الرئيسية التى تؤثر على الراحة الحرارية للإنسان (Atkinson, 1953) والعامل الأساسي هنا هو مقدار المعدلات القصوى لدرجتي الحرارة والرطوبه والتي قد تسبب عدم الرضا بالمناخ الحراري. والمناخ الاستوائي الممطر يوجد حول خط الاستواء بين خطي عرض ١٥°

شمالا و١٥° جنوبًا. ومن المدن التي تتميز بهذا المناخ سنغافوره، جاكرتا، لاغوس، دار السلام، ممبسا، وكولمبو. والاختلافات المناخية فيه محدودة جدا خلال فترة العام ويتراوح المعدل الشهري لدرجات الحرارة القصوى monthly mean maximum temperature خلال اليوم من ٢٧° إلى ٣٢°م. أما أثناء الليل فيتراوح المعدل الشهري لدرجات الحرارة الدنيا monthly mean minimum temperature من ٢١° إلى ٢٧°م. وعادةً مايكون الفرق بين أعلى وأدنى درجة حرارة خلال العام وخلال اليوم قليلة نسبيا. أما معدلات الرطوبة النسبية الشهرية فتميل إلي الارتفاع حيث تتراوح معدلاتها من ٥٥ ٪ إلى ١٠٠٪ ومتوسطها في حدود ٧٥٪، وتكون السماء ملبدة بالغيوم طيلة أيام السنة. أما أشعة الشمس فينعكس جزءٌ منها ويتشتت بواسطة السحب، ولكن تظل الأشعة التي تصل إلى سطح الأرض شديدة الحرارة. تكون الرياح في الغالب هادئة ماعدا وقت هطول الأمطار والزوابع الرعدية، حيث تزداد سرعة الرياح بشكل ملحوظ وقد تصل إلى ٣٠ مترا في الثانية وهي في الغالب تكون في اتجاه واحد أو اتجاهين على الأكثر. وهذه المناطق تَتَميّز بكثرة الخضرة نتيجة لهطول الأمطار الكثيفة خاصة خلال فصل الخريف.

(١, ٢, ٢) المناخ المداري Tropical climate

ينقسم المناخ المداري إلى أربعة أقسام رئيسية، هي (Deiter, 1983) :

(أ) المناخ الحار الجاف الصحراوي.
(ب) المناخ الحار الرطب.
(جـ) المناخ المركب.
(د) المناخ المداري للمرتفعات.

(أ) المناخ الحار الجاف الصحراوي

يوجد المناخ الحار الجاف في حزامين أحدهما شمال خط الاستواء والآخر جنوب خط الاستواء بين خطي عرض ١٥° و ٣٠°. يتصف المناخ الحار الجاف بفصلين رئيسيين هما الفصل الحار والفصل المعتدل أو الأقل حرارة.

	المعدل الشهري لدرجات الحرارة	
	القصوى	الدنيا
الفصل الحـــار	٤٣° - ٤٩°	٢٤° - ٣٠°
الفصل المعتدل	٢٧° - ٣٢°	١٠° - ١٨°

أما معدلات الرطوبة النسبية فتتراوح من ١٠٪ إلى ٥٥٪. أما السماء فغالبا ما تكون صافية والسحب قليلة نتيجة لانخفاض معدلات الرطوبة النسبية. أما أشعة الشمس فهي تسقط مباشرة وقوية خلال النهار، ولكن نتيجة لانعدام السحب أثناء الليل فيمكن التخلص من الحرارة بواسطة الإشعاع ذي الموجات الطويلة long-wave radiation في اتجاه الفـضاء الخـارجي نحو السماء الصافية. الرياح غالبًا ماتكون حارة وبها شوائب من الأتربة وذرات الرمل الناعمة. وتقل المساحات الخضراء والأشجار نتيجة لانخفاض معدلات الرطوبة وندرة الأمطار. ومن المدن الرئيسية التي تمثل هذا النوع من المناخ أسوان في مصر وبغداد في العراق والرياض في المملكة العربية السعودية والعين في دولة الإمارات العربية المتحدة.

(ب) المناخ الحار الرطب

يوجد المناخ الحار الرطب في خطوط العرض نفسها التي تحدد المناخ الحار الجاف مع وجود مسطحات مائية واسعة. ويمكن تقسيم السنة إلى فصلين الفصل الأول حار أما الفصل الثاني فمعتدل نسبيا. أما معدلات الرطوبة النسبية فغالبا ما تكون مرتفعة وتتراوح من ٥٠٪ إلى ٩٠٪. أما السماء فتكون صافية كما في المناخ الصحراوي مع وجود بعض السحب الخفيفة التي قد تسبب الإبهار glare الناتج من شدة الضوء نتيجة لانعكاسات أشعة الشمس. أما أشعة الشمس فغالبا ما تكون قوية ومباشرة ومنعكسة بواسطة السحب وذرات المياه العالقة بالجو. الرياح غالبا ماتكون محليه وتتولد نتيجة للفوارق بين درجة حرارة الهواء في اليابسة والمسطحات المائية واختلافاتها أثناء النهار وأثناء الليل. ويكون اتجاه الرياح من البحر في اتجاه اليابسة أثناء النهار ومن الأرض اليابسة إلى البحر أثناء الليل. ومن المدن التي تمثل هذا النوع من المناخ الكويت (الكويت)، وكراتشي (الباكستان)، وجدة (المملكة العربية السعودية).

الفصــــول	المعدل الشهري لدرجات الحرارة	
	القصوى	الدنيا
الفصل الحـــــار	٤٠° - ٤٨°	٢٤° - ٣٠°
الفصل المعتدل	٢١° - ٢٦°	١٠° - ١٨°

(جـ) المناخ المركب

يوجد هذا المناخ في قلب القارات إلى الشمال من مدار السرطان وإلـــى الجنوب من مدار الجدي. ومن المدن التي تمثل هذا المناخ، لاهور في الباكستان، ونيودلهي في الهند وكانو في نيجيريا. ونسبة لأن هذه المناطق تبعد كثيرًا عن خط الاستواء فإنها تتعرض إلى التباين الواضح في قوة أشعة الشمس خلال الـعـام، وأيضا إلى الاختلاف الكبير في اتجـاه الرياح. ويمكن تقسيم المناخ في هـــذه المناطق إلى فصلين رئيسيين، الأول هو الفصل الحار الجاف والذي يمتد إلى ثمانية أشهر، والثاني هو الفصل الدافىء الرطب والذي يمتد إلى أربعة أشهـر. خـلال الفصـــل الحار الجاف يتراوح المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوى من ٣٢° إلى ٤٣°م، والمعدل الشهري لدرجة الحرارة الدنيا يتراوح من ٢١° إلى ٢٧°م، والمعدل الشهري للرطوبة النسبية يتراوح من ٢٢٪ إلى ٥٥٪. أما خلال الفصل الدافـىء الرطب فإنّ المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوي يتراوح من ٢٧° إلى ٣٢°م، والمعدل الشهري لدرجة الحرارة الدنيا يتراوح من ٢٤° إلى ٢٧°م، والمعدل الشهري للرطوبة النسبية يتراوح من ٥٥٪ إلى ٩٥٪ (Koenigsberger *et al.*, 1973).

(د) المناخ المداري للمرتفعات

يوجد هذا المناخ في المناطق المرتفعة والتي تكون علي ارتفاع يتـراوح مـن ٩٠٠ إلى ١٨٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر. ومن المدن التي تمثل هذا المناخ، أديس أبابا في أثيوبيا، ونيروبي في كينيا، ونيو مكسكو في المكسيك. بالنسـبـة للمناطق التي تكون على ارتفاع ١٨٠٠ متر فوق سطح البحر يتـراوح المـعـدل الشهري لدرجة الحرارة القصوي مــن ٢٤° إلى ٣٠°م، والمعدل الشهري لدرجـة الحرارة الدنيـا مــن ١٠° إلـي ١٣°م، والرطوبة النسبـيـة مــن ٤٥٪ إلــى ٩٩٪ (Koenigsberger *et al.*, 1973).

(١.٢.٣) المناخ المعتدل Temperate climate

ينقسم المناخ المعتدل إلى أربعة أقسام رئيسية هي:

(أ) مناخ البحر الأبيض المتوسط .

(ب) المناخ المعتدل البحري .

(جـ) المناخ القاري المعتدل .

(د) مناخ الحشائش المعتدلة .

(أ) مناخ البحر الأبيض المتوسط Mediterranean climate

يوجد هذا المناخ حول حوض البحر الأبيض المتوسط وبعض المناطق الأخرى التي تشاركه السمات نفسها، وينقسم إلي ثلاثة أنواع هي؛ الساحلي والجبلي والصحراوي. ويُعْتَبر هذا المناخ مُمَيّزا عن غيره من المناخات الأخرى في العالم إذ أنه معتدل معظم أيام السنة ويمكن وصفه بأنه حار جاف صيفًا دافىء ممطر شتاءً، ويُعزى ذلك إلى تأثر أجزاء هذا الإقليم المناخي بالكتل الهوائية القارية والبحرية المدارية خلال فصل الصيف والكتل الهوائية القطبية البحرية الرطبة خلال فصل الشتاء.

(ب) المناخ المعتدل البحري Marine temperate climate

تَتَميّز أراضي هذا الإقليم المناخي بقربها من المسطحات المائية المجاورة والتي تؤثر على مناخها بشكل واضح وفعّال. وكلما بَعُدتْ أراضي هذا الإقليم عن البحر المجاور تقل كمية الأمطار الساقطة ويزداد المدى الحراري السنوي، في حين تتنوع كثافة الغطاءات النباتية مع ازدياد كمية الأمطار الساقطه ومن ثمّ تنمو الحشائش المعتدلة. ومن أهم مميزات هذا الإقليم مناخيا هو تغيير طقسه من مكان إلى آخر، بل ومن ساعة إلى أخرى في المكان الواحد نفسه. ومن ثمّ يرى البعض أن هذا النوع من المناخ من الصعب تصنيفه «كمناخ» بل هو عبارة عن تتابع أيام متعاقبة ذات طقس متنوع. ويتمثل المناخ البحري المعتدل في النطاق الغربي من القارة الأوروبية ويمتد من شمال إسبانيا جنوبًا حتى بولنده وجنوب السويد شمالا، كما توجد نطاقاته في أمريكا الشمالية وكندا على طول السهول الساحلية الغربية.

(جـ) المناخ القاري المعتدل **Continental temperate climate**

يُعتبرالاختلاف الرئيسي بين المناخ القـاري المعتدل والمناخ البحري المعتـدل والذي سبق أن أشرنا إليه، هو أن المدى الحراري السنوي هنا يُعد مرتفـعًا، وقد يـصل إلى ضعف مقدار المدى الحراري السنوي للمناخ البحري المعتـدل. ويرجع ذلك إلى بعـد نطاق هذا الإقليم المناخي عن المؤثرات البحرية من جـهة، وإلى قـلة تأثره بالريـاح الرطبة الآتية من البحر إلى الـيابس من جـهة أخرى. ويقـع هذا الإقليم المناخي تحت تأثير الكتل الهوائية القطبية القارية الشتوية، والـكتـل الهوائية المدارية البحرية الصيفية، وتقل فيه حدوث الانخفاضات الجوية مقـارنـة بحدوثها في الإقليم البحري المعتدل. ونتيجة لتعرض أجزاء هذا الإقليم للكتـل الهوائية الباردة لفترة طويلة خلال السنة، يقل حدوث الانخفاضات الجوية بسبب استقرار الهواء ولندرة تقابل الكتل الهوائيـة المختـلفة الخصـائـص. ومـن ثـمّ يتمثل هذا الإقليم المناخي في منطقتين أساسيتين هما:

١ ـ المناطق الداخلية من القارات كما هو الحال في شرق أوروبا، وامتداد هذا النطاق شرقا في أراضي روسيا الآسيوية.
٢ ـ المناطق الشرقية من القارات خاصة في شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية وكندا ومنشوريا وشبه جزيرة كوريا.

(د) مناخ الحشائش المعتدلة **Temperate grassland climate**

إنّ مناخ الحشائش المعتدلة يُعتبر من أجفّ أنواع مجموعة المناخات المعتدلة تبعًا لتطرف موقعه بعيدًا عن المؤثرات البحرية، ووصول الرياح إليه شبه جافـة، ومن ثمّ تسهم الأمطار القليلة الساقطة في نمو حشائش قصيرة لينة تعرف باسـم الاستبس. ومن هنا اكتسب هذا الإقليم تسميته من خصائص النباتات الطبيعيـة الممثلة فيه. يوجد هذا المناخ في أواسط أمريكا الشمالية وجنوب المناخ الـقـاري المعتدل في روسيا وفي أواسط آسيا وجنوب الأرجنتين وجنوب شرق أستراليا.

(٤ , ٢ , ١) المناخ القطبي **Arctic climate**

ينقسم المناخ القطبي إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي:

(أ) المناخ البارد أو شبه القطبي.
(ب) المناخ القطبي.
(جـ) مناخ الغطاءات الثلجية.

(أ) المناخ البارد أو شبه القطبي

يغطي المناخ البارد القسم الشمالي من آمريكا الشمالية والقسم الشمالي من قارة أوروبا والقسم الشمالي من قارة آسيا. ومعظم هذه المناطق بعيدة عن المؤثرات البحرية وتتميز بشدة برودتها خاصة خلال فصل الشتاء، وتغطي الثلوج مناطق واسعة منها، وكثيرا ما تكون الأرض نفسها شبه متجمدة خلال فصل الشتاء. ويتمثل فوق هذه المناطق مراكز نشوء الكتل الهوائية القطبية التي تَتَميّز بالجفاف والبرودة. ويمتد هذا الإقليم المناخي من النصف الجنوبي لشبه جزيرة الاسكا غربًا حتى الأراضي الكندية والأجزاء الشمالية من فنلندة.

(ب) المناخ القطبي

يضم هذا الإقليم أقصى الأجزاء الشمالية من كندا وشمال روسيا وجزيرة جرينلند والقطب الجنوبي. وتشتد البرودة شتاءً وصيفا، حيث تنخفض درجة الحرارة دون الصفر المئوي خلال فصل الصيف أيضا.

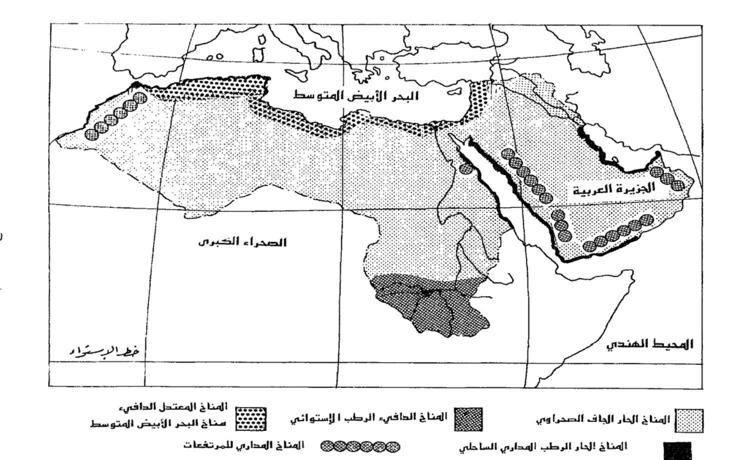
(جـ) مناخ الغطاءات الثلجية

هذا الإقليم يَتميّز بالبرودة الشديدة طيلة أيام العام، حيث تكون درجة حرارة الهواء دائمًا تحت الصفر المئوي. ويتمثل هذا الإقليم المناخي بالقسم الأوسط من جزيزة جرينلند حيث تغطي الثلوج سطح الأرض طوال العام.

(١,٣) الخصائص العامة للأقاليم المناخية في الوطن العربي

يمكن تقسيم الوطن العربي بشكل عام إلى خمسة أقسام رئيسية تفاصيلها كالآتي (الخولي، ١٩٧٥م) (شكل رقم ١,٤):

١ـ المناخ الحار الجاف الصحراوي.
٢ ـ المناخ الحار الرطب الاستوائي.



شكل (٤ , ١). التقسيمات المناخية للوطن العربي.

٣ ـ المناخ الحار الرطب المداري الساحلي.
٤ ـ المناخ المداري للمرتفعات.
٥ ـ المناخ المعتدل الدافيء، مناخ البحرالأبيض المتوسط.

(١,٣,١) المناخ الحار الجاف الصحراوي

يغطي هذا النوع من المناخ معظم المناطق في الوطن العربي إذ يوجد في معظم شبه الجزيرة العربية باستثناء المرتفعات التي تقل فيها درجة الحرارة والمناطق الساحلية على شاطيء الخليج العربي والبحر الأحمر والتي تزيد فيها نسبة الرطوبة لتصير أقرب إلى المناخ الحار الرطب منها إلى المناخ الحار الجاف. ويشمل هذا الإقليم أيضا معظم مناطق شمال أفريقيا عدا بعض المناطق التي تطل على البحر الأبيض المتوسط والتي تتميز بالصيف الحار الجاف والشتاء الدافيء الممطر.

بصفة عامة تَتَميّز درجة حرارة الهواء في هذا المناخ بالارتفاع الكبير، وقد تصل درجة الحرارة القصوى إلى أكثر من ٤٥ °م في فصل الصيف خلال ساعات النهار. ويُعتبر فصل الصيف من أطول فصول هذا الإقليم إذ يستمر من خمسة إلى ستة أشهر ويكون معدل درجة حرارة الهواء فيه حوالي ٤٠ °م، بينما يُعتبر فصل الشتاء قصير، إذ يستمر من ثلاثة إلى أربعة أشهر ويكون معدل درجة حرارة الهواء فيه حوالي ٢٥ °م ويكون الجو معتدلاً في باقي الشهور. إن ارتفاع درجة حرارة الهواء خلال فصل الصيف ناتج من شدة أشعة الشمس المباشرة والتي تسقط بشكل عمودي أو شبه عمودي طول النهار، وعدم وجود غطاء واق من الغيوم، فإن الفرق في درجات الحرارة اليومية بين الليل والنهار يكون كبيرًا نسبيا في هذا الإقليم، إذ يصل الفرق بين درجة حرارة الهواء أثناء النهار ودرجة حرارة الهواء أثناء الليل إلى حوالي ٢٠ °م. والسبب في ذلك يرجع إلى فقدان الأرض للكثير من حرارتها إلى السماء الصافية أثناء الليل بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة والتي تتسبب في انخفاض معدلات درجة حرارة الهواء المحيط. أما الفرق في درجات الحرارة القصوي الشهرية بين فصلي الشتاء والصيف فيُقدر بأكثر من ٣٠ °م. والسبب في هذا التفاوت يرجع إلى أنّ أشعة الشمس تكون شبه عمودية خلال فصل الصيف، بينما تقل زاوية سقوط أشعة الشمس خلال فصل الشتاء.

عمومًا تتصف مناطق المناخ الحار الجاف الصحراوي بالجفاف الشديد رغم وجود بعض المناطق التي تسقط فيها الأمطار، والتي يتراوح معدل سقوطها من ٥٥ إلى ١٥٥ مليمتر في العام (Koenigsberger *et al.*, 1973). وبالرغم من تدني معدل سقوط الأمطار، إلا أنها لا تخضع لنظام محدد، إذ أنها تنهمر وبشدة وبطريقة فجائية ولفترات قصيرة في بعض المناطق. ونظرًا للارتفاع الملحوظ في درجة الحرارة والانخفاض في الرطوبة فإن المياه المتساقطة تتبخر بسرعة. ويتّميّز هذا المناخ برياحه الحارة الحاملة للرمال والتي تهب في فترات مختلفة على مدار العام. تكثر الرياح الرملية في هذا الإقليم في أوائل فصل الصيف وخلال فصل الربيع نتيجة للتغيرات التي تحدث في مجالات الضغط الجوي. وتهب الرياح، والتي تتميز بدرجة حرارة مرتفعة، من مناطق الضغط العالي في الصحراء الليبية أو شبه الجزيرة العربية إلى مناطق الضغط المنخفض وتحمل معها ذرات الرمال. هذه الرياح الحارة والتي تحتوي على ذرات من الرمال لها بعض الآثار الضارة جدا كاضطرابات الاتصالات السلكية واللاسلكية وانعدام الرؤية. هذا النوع من الرياح تُطلق عليها مسميات مختلفة في الوطن العربي، إذ تُعرف في منطقة الخليج العربي (بالطوز) وفي شبه الجزيرة العربية والسودان (بالسموم) وفي الشام (بالشكوك) وفي ليبيا (بالرياح القبلي) وفي مصر (برياح الخماسين).

(٢, ٣, ١) المناخ الحار الرطب الاستوائي

يندر وجود هذا النوع من المناخ في الوطن العربي وينحصر وجوده في مساحة صغيرة في جنوب السودان. وتَتَميّز طبوغرافية إقليم جنوب السودان بأنها منبسطة باستثناء الأطراف الجنوبية الشرقية التي تكثر فيها التلال والجبال وتغطي هذا الإقليم حشائش السافنا بأنواعها المختلفة وبعض الغابات الخفيفة. تختلف درجة حرارة الهواء في هذا الإقليم نتيجة للاختلاف في معدل هطول الأمطار، إذ تبلغ أدنى مستوى لها في فصل الخريف فتصل إلى ١٨°م لكثرة هطول الأمطار وتبلغ أعلى مستوى لها في فصل الصيف الجاف حيث تصل إلى ٣٨°م. ويكون المتوسط السنوي لدرجة الحرارة في هذا الإقليم حوالي ٢٥°م، كما أن المدى الحراري اليومي والسنوي قليل جدا مقارنة بالمدى الحراري للمناخ الحار الجاف، إذ لايتجاوز المدى الحراري السنوي في هذا

الإقليم ثلاث درجات مئوية، ويرجع ذلك إلى الارتفاع النسبي للرطوبة على مدار العام، وانخفاض معدل التبخر وكثافة الغطاء العشبي الذي يستمر لأكثر من سبعة أشهر في العام.

هذا الإقليم المناخي يتميّز بطول فصل الأمطار الذي يتعدى السبعة أشهر والذي يبدأ في شهر أبريل ويستمر حتى شهر أكتوبر أو نوفمبر من كل عام. إن طول فصل الأمطار، والغزارة التي تسقط بها، والمسطحات النباتية الكثيفة لها أثرها الواضح في ارتفاع نسبة الرطوبة حيث تصل في معظم الأحيان إلى ٩٠٪ وقد تتعداها في موسم الأمطار. ويَتَميّز هذا المناخ أيضا بالرياح المعتدلة السرعة نتيجة للغابات الكثيفة، وفي موسم الأمطار قد تتحول هذه الرياح المعتدلة إلى عواصف رعدية قاسية يتبعها سقوط أمطار غزيرة.

(١,٣,٣) المناخ الحار الرطب المداري الساحلي

يغطي هذا المناخ الشريط الساحلي للخليج العربي وساحل شبه الجزيرة العربية، وسواحل البحرين، والشريط الساحلي المطل علي البحر الأحمر ويتمثل في مدن جدة ودبي وأبوظبي. إن هذا المناخ مشابه لمناخ المناطق الحارة الجافة باستثناء قربها من البحر الذي يؤدي إلى ارتفاع ملحوظ في درجات الرطوبة. يتميز هذا المناخ بصيف حار جدا إذ يتراوح المعدل الشهري لدرجات الحرارة من ٢٤° إلى ٤٦° م، و نسبة رطوبة عالية إذ يتراوح المعدل الشهري للرطوبة النسبية في فصل الصيف من ٥٠٪ إلى ١٠٠٪ .

(١,٣,٤) المناخ المداري للمرتفعات

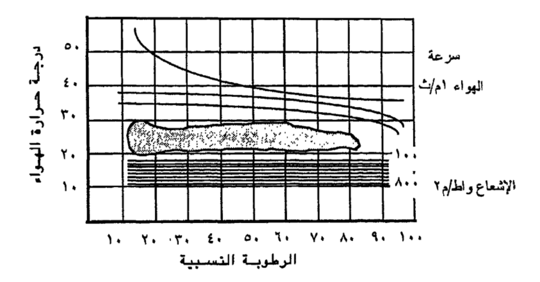
هناك بعض المناطق المدارية التي تتميز بارتفاعها الملحوظ عن سطح البحر، مثل مرتفعات السروات وعسير في غرب المملكة العربية السعودية، وجبال الساحل اليمني، وجبال الساحل الشرقي السوداني، حيث يتراوح الارتفاع من ٩٠٠ إلى ١٢٠٠ متر عن سطح البحر. إن الارتفاع الكبير عن سطح الأرض يؤدي لانخفاض واضح في درجات الحرارة، إذ تتراوح درجات الحرارة خلال فصل الصيف من ٢٠° إلى ٣٢° م، وخلال فصل الشتاء من ٦° إلى ٢٦° م، أمّا الأمطار فتهطل في فصل الشتاء.

(١,٣,٥) المناخ المعتدل الدافىء

يشمل هذا المناخ السهول الساحلية من شمال القارة الأفريقية المطلة على البحر الأبيض المتوسط والسفوح الغربية لمرتفعات الشام. يكون الصيف في هذا الإقليم جافا، أما الأمطار فتسقط في فصل الشتاء. هذا المناخ يعرف بمناخ البحر الأبيض المتوسط، حار جاف صيفا دافىء ممطر شتاء. يتميز هذ المناخ باعتدال درجات الحرارة خلال فصل الشتاء، إذ يتراوح المعدل الشهري من ١٥° إلى ٢٠ م°، في حين يكون الصيف حارا وتتراوح درجة الحرارة من ٢٨° م إلى ٣٢ م°، قد ترتفع درجة حرارة الهواء خلال فصل الصيف أثناء النهار إلى معدلات عالية نتيجة لقوة أشعة الشمس التي تسقط على الأرض من خلال السماء الصافية. إن متوسط الرطوبة في هذا الإقليم (٥٠٪ - ١٠٠٪) تعتبر عالية نسبيا مقارنة بالإقليم الحار الجاف (١٠٪ - ٥٥٪)، وذلك نتيجة لسقوط الأمطار في فصل الشتاء وانخفاض معدل التبخر. خلال فصل الصيف يتعرض الجزء الشرقي من هذا الإقليم للرياح الموسمية التي تتخلص من أمطارها عند عبورها سلاسل الجبال ثم تتجه شرقا نحو ساحل الشام. في حين أن الجزء الغربي من هذا الإقليم تهب عليه الرياح الشمالية في طريقها إلى الصحراء الكبرى. أما خلال فصل الشتاء يتعرض الإقليم للرياح الغربية التي تكون مشبعة بالبخار وتتسبب في هطول الأمطار.

(١,٤) التصميم المناخي Climatic Design

يمكن تعريف المناخ الحراري بعناصره الأربعة؛ وهي درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية، والإشعاع، وسرعة الهواء. وقد تم تصميم وتطوير المخطط البياني الحيوي المناخي bioclimatic chart من أجل دراسة التفاعل الكلي لهذه العناصر الأربعة وأثرها ومفعولها على إحساس الإنسان بالراحة (Olgyay and Olgyay, 1963). وقد احتوى المخطط البياني الحيوي المناخي الموضح على الشكل رقم (١,٥) على محور رأسي يمثل درجة حرارة الهواء وقوة الإشعاع ومحور أفقي يمثل الرطوبة النسبية. ويمكن تحديد منطقة الراحة الحرارية استنادا على نتائج الدراسات والتجارب الميدانية التي أجريت في هذا المجال. لقد تم تحديد الحد الأعلى والحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية بناء على درجة الحرارة ومعدلات الرطوبة النسبية مع اعتبار الهواء ساكنا وفي غياب أي إشعاع، في حين يدخل العاملان الآخران وهما سرعة الهواء الذي يؤثر على الحد الأعلى وقوة الإشعاع الذي يؤثر على الحد الأدنى.



شكل رقم (٥ , ١). المخطط البياني الحيوي المناخي.
المصدر : Szokolay (1980). p. 263

إن حركة الهواء وقوة الإشعاع لهما مفعول كبير وأساسي على معدل التبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط به. عندما تكون درجة حرارة الهواء أقل من درجة حرارة السطح الخارجي لجسم الإنسان، يفقد الإنسان جزءًا من حرارته نتيجة لاحتكاكه مع الهواء البارد، وكلما زادت سرعة الهواء زاد معدل فقدان الحرارة وبذلك يرتفع الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية. وعندما تكون معدلات الرطوبة النسبية منخفضة يزداد معدل فقدان الحرارة بواسطة تبخر العرق كلما زادت سرعة الهواء، وأيضًا يرتفع الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية. أما الإشعاع بنوعيه المباشر من الشمس وغير المباشر من الأسطح المواجهة لجسم الإنسان فإن مفعوله يكون ذا فائدة كبيرة فقط عندما تكون درجة حرارة الهواء أقل بكثير من درجة حرارة السطح الخارجي لجسم الإنسان. بواسطة الإشعاع يمكن للإنسان تعويض الحرارة التي يفقدها للمناخ الخارجي بواسطة تيارات الحَمْل عندما تكون درجة حرارة الهواء متدنية، ولذلك يمكن تحديد الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية بناءً على معدلات قوة الإشعاع. في بعض الحالات عندما تقع النقطة خارج منطقة الراحة الحرارية، يمكن معالجتها من خلال تغيير سرعة الهواء أو

تغيير معدل الإشعاع. مثال لذلك، عندما تكون درجة حرارة الهواء = ٢٤ ْم والرطوبة النسبية ٧٠٪، يحتاج الشخص إلى سرعة هواء في حدود ١,٢٥متر/ ثانية ليكون داخل نطاق منطقة الراحة الحرارية. أما عندما تكون درجة حرارة الهواء ١٠ ْم والرطوبة النسبية ٥٦٪ فإن الشخص يحتاج إلى قوة إشعاع شمسي في حدود ٧٨ واط لتعويض مايفقده من حرارة بواسطة تيارات الهواء البارد ليكون داخل نطاق منطقة الراحة الحرارية (Koenisberger *et al.*, 1973).

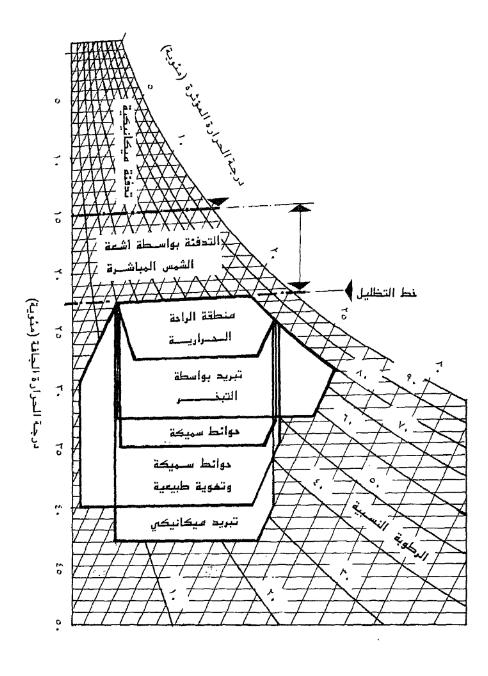
إن دراسة المخطط البياني الحيوي المناخي وتحليله يُعتبر الخطوة الأولى في التصميم المناخي الذي يهدف إلى تحقيق الانسجام والاتزان بين المبنى والمناخ المحيط به. ونتيجة لدراسة المخطط البياني الحيوي المناخي يمكن للمهندس المعماري التوصل الى الحلول والمعالجات المناخية التي يوفرها مناخ الموقع، والتي قد تساعد في تحقيق متطلبات الإنسان من الراحة الحرارية. أما إذا كانت هنالك صعوبات في تلبية كل متطلبات الراحة الحرارية للإنسان بواسطة المعالجات المناخية، في هذه الحالة يتعين على المهندس المعماري محاولة الاستفادة من خصائص المناخ إلى أقصى حد ممكن، ومن ثمّ يستعين بالوسائل الميكانيكية المتمثلة في التكييف الميكانيكي والمراوح الهوائية، وبذلك يكون قد أسهم إسهامًا فاعلا في ترشيد استهلاك الطاقة.

إن تطور التصميم المعماري كان ولايزال في تجاوب مستمر مع المناخ الحراري. وفي عام ١٩٦٣م نبعت فكرة المخطط البياني الحيوي المناخي في زمن اتسم بالاهتمام الكبير من جانب الباحثين والمهندسين المعماريين تجاه المناخ وأهميته بالنسبة للتصميم (Olgyay and Olgyay, 1963). وفي عام ١٩٦٩م ظهرت فكرة بياني خواص الهواء psychrometric chart والذي يُعتبر من الوسائل المهمة التي تساعد المصمم في وضع الأسس التصميمية من أجل تحسين الأداء الحراري للمبنى (Milne and Givoni, 1979 and Szokolay, 1986). إن بياني خواص الهواء يتيح للمهندس المعماري التوصل إلى القرارات التصميمية الخاصة بالمعالجات المناخية التي تساعد على الاستفادة من خصائص المناخ المحيط. ويتم تحليل البيانات المناخية على النحو التالي:

في المرحلة الأولى لابد من تحديد منطقة الراحة الحرارية على بياني خواص الهواء. إن تحديد منطقة الراحة الحرارية يمكن أن يتم بناء على نتائج الدراسات والتحليلات للبيانات المناخية الخاصة بالموقع. ولاشك أن متطلبات الراحة الحرارية

للإنسان تختلف باختلاف المناخ السائد في المنطقة التي يعيش فيهـا، و الحـالـة الثقافية والاقتصادية والاجتماعية للمجتمع كما تختلف من شخص إلى آخر باختلاف الحالة الصحية للفرد والنشاط الذي يقوم به. كما أن هنالك قدرا من التباين فـي متطلبات الفرد الواحد باختلاف الفصول وذلك للتباين الكبير في معامل العـزل الحراري للملابس صيفا وشتاء، وبالتالي يمكننا تحديد متطلبات الراحة الحرارية لفصلي الصيف والشتاء. يتم تحديد منطقة الراحة الحرارية بنـاءً على معـــدلات العناصر المناخية التي تتفاعل مع الإنسان وتؤثر على إحساسه بالحرارة. وبالنسبة للأشخاص الذين يعيشون في المناطق الحارة يمكن تحديد منطقة الراحة الحرارية من ٢٢° إلى ٢٦.٥° م والرطوبة النسبية من ٢٠٪ إلى ٨٠٪ (Szokolay, 1986). ولقد تمّ توضيح منطقة الراحة الحرارية الخاصة بالمناطق الحارة على بياني خواص الهواء على (الشكل رقم ٦.١). وإذا كانت درجة حرارة الهواء ومعدلات الرطوبة للمناخ الخارجي تقع ضمن منطقة الراحة الحرارية لايكون هنالك ضرورةً للمبنى، إذ يمكن للإنسان أن يجد الراحة الكاملة تحت ظل شجرة مثلاً. ولكن غالبًا ماتكون خصائص المناخ الحراري خارج منطقة الراحة الحرارية على الأقل في فترة ما خلال العام. ولابد من لفت نظر القارىء هنا إلى أن بياني خواص الهواء ومنطقة الراحة الحرارية المحددة عليه دراسة تقريبية الهدف منها إعطاء فكرة عـامة عن خصائص مـنـاخ الموقع ومتطلبات الراحة الحراريـــة للإنسان والحلول والبدائل المتاحة التي يوفرها التصميم المناخي ويجب ألا يؤخذ بدقة متناهية.

وفي المرحلة الثانية يتم توضيح الفترة التي تمثل خصائص المناخ المحـيـط التي تتجاوز منطقة الراحة الحرارية نتيجة للحرارة الزائدة، والذي يتيـح فـرصـة الحصول على المناخ الملائم من خلال تصـــميم الغـــلاف الخارجي للمبـنـى. إن استعمال غلاف خارجي ذي ســعة حراريـة عاليـة يساعد على زيـادة مـعـدل التأخر في انسياب الحرارة من الخارج إلى الداخل. كذلك يكون بالإمكان الاستفادة من التهوية الطبيـعـية أثناء الليل لتخفيض درجة حرارة الغلاف الخـــارجـــي بواسـطة الهواء البارد. أما عندما تكون معدلات الرطوبة النسبية مرتفعـة جـدا تزداد أهمية التهوية الطبيعية وسرعة الهواء من أجل تحسين خصائص المناخ الداخلي. وعندما تكون سرعة الهواء الطبيعية غيـر فـعّالة يمكن الاستعانة بوسائل التهويـة الميكانيكية كالمراوح الهوائية ومراوح سـحب الهواء. أما عندما تكـون معـدلات



شكل رقم (٦ , ١) تقسيمات بياني خواص الهواء.

المصدر : Norbert (1991). p. 46

درجة حرارة الهواء مرتفعة جدا ومعدلات الرطوبة النسبية منخفضة، يمكن الاستفادة من التبريد بواسطة التبخر، وفي حالة الانخفاض الشديد في معدلات الرطوبة يمكن تلطيف المناخ من خلال زيادة الرطوبة. وعندما تكون الأحوال المناخية خارج إمكانات الحلول الطبيعية، يكون البديل الوحيد هو استعمال الوسائل الميكانيكية كأجهزة تكييف الهواء. أما بالنسبة للمناطق ذات المناخ البارد فإن التصميم المناخي قد يوفر فرصا جيدة وذلك بالاستفادة من أشعة الشمس المباشرة خلال الفصل البارد. اما عندما تكون درجات الحرارة منخفضة جدا مع عدم توافر القدر الكافي من أشعة الشمس في الموقع، يكون أحد البدائل في هذه الحالة هو اللجوء إلى استعمال وسائل الطاقة الأخرى كالفحم والزيت والغاز والكهرباء... الخ من أجل التدفئة. ويمكن تقسيم الأسس العامة للتصميم المناخي إلى قسمين رئيسيين، القسم الأول الذي يختص بأساسيات التصميم للمناطق ذات المناخ البارد، والقسم الثاني الذي يختص بأساسيات التصميم للمناطق ذات المناخ الحار.

(١, ٤, ١) التصميم المناخي للمناطق الباردة

تتمركز حدود المناخ البارد إلى اليسار من منطقة الراحة الحرارية الموضحة على بياني خواص الهواء (الشكل رقم ٦, ١). في هذه الحالة تكون الخطوة الأولى التي يجب التفكير فيها واللجوء إليها هي كيفية الاستفادة من أشعة الشمس المباشرة في عملية التدفئة. إن أسهل الطرق للاستفادة من أشعة الشمس المباشرة في التدفئة هي السماح لهذه الأشعة بالنفاذ إلى الفراغ الداخلي من خلال الفتحات والمسطحات الزجاجية. وهنالك وسائل أخرى يمكن بواسطتها الاستفادة من أشعة الشمس المباشرة في التدفئة. أما إذا كانت أشعة الشمس تسقط على حائط مصمت، أي غير شفاف، فإن أشعة الشمس الساقطة على سطحه الخارجي سوف ترفع درجة حرارته ومن ثمّ تتدفق الحرارة عبر الحائط إلى السطح الداخلي بواسطة التوصيل، ثمّ إلى الفراغ الداخلي بواسطة الإشعاع غير المباشر وتيارات الحَمْل. إن معدل تدفق الحرارة عبر الحائط يعتمد على الخصائص الحرارية للمواد المستعملة وعلى طريقة إنشاء الحائط، وعلى الفرق في درجات الحرارة بين السطح الخارجي والسطح الداخلي (راجع الفصل الثالث). إن الحوائط الرفيعة تُساعد على زيادة معدل تدفق الحرارة من الخارج إلى الداخل أثناء النهار ولكنها

أيضا تؤدي إلى فقدان كميات كبيرة من الحرارة وتسربها من الداخل إلى الخارج أثناء الليل. ومن المعالجات المناخية في هذه الحالة جعل أشعة الشمس المباشرة تسقط على الحوائط والأرضيات والأسقف السميكة ذات السعة الحرارية العالية والتي تساعد في تخزين كميات كبيرة من الحرارة لفترات طويلة حتى يُستفاد منها أثناء الليل عندما تنخفض درجات الحرارة دون مستوى الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية. في العمارة التقليدية كانت الحوائط السميكة يتم تشييدها من الطين والحجر. أما في العمارة المعاصرة فقد ظهرت أنواع مختلفة من مواد البناء والتي يمكن الاستفادة من سعتها الحرارية العالية مثال ذلك الخرسانة المسلحة. ومن الحلول الجيدة استعمال الماء كمستودع للحرارة وذلك بحفظه في خزانات مع وضع مادة شفافة كالبلاستيك أو الزجاج في السطح المواجه لأشعة الشمس، على الجدران الخارجية أو السقف أو النافذة. تسقط الحرارة على السطح الشفاف وتتسرب إلى الداخل فيقوم الماء بامتصاص الحرارة أثناء النهار. وعند مغيب الشمس يتم عزل خزان الماء من الفضاء الخارجي لمنع تسرب الحرارة إلى الخارج وجعل الحرارة تتدفق إلى الداخل. إن فعالية التدفئة بواسطة أشعة الشمس المباشرة تعتمد على مساحة المسطحات الزجاجية وعلى معدل سقوط الطاقة الإشعاعية عبر النوافذ والفتحات وعلى الأسطح الخارجية للحوائط والأسقف. إن التحديات التي تواجه المهندس المعماري في المناخ البارد تكمن في كيفية الاستفادة القصوى من أشعة الشمس المباشرة في تدفئة المناخ الداخلي وعدم اللجوء إلى استعمال الوسائل الأخرى نسبة لسلبياتها مقارنة بأشعة الشمس. وفي حالة عدم كفاءة التدفئة بواسطة أشعة الشمس المباشرة يكون من الضروري استعمال وسائل التدفئة التقليدية كالفحم والغاز والزيت والخشب والتي لها سلبياتها من حيث التلوث، في حين أن الطاقة الكهربائية مازالت تعتبر البديل الأفضل مقارنة بالبدائل الأخرى. أما استعمالات الطاقة الشمسية النشطة active solar energy لتوليد الطاقة الكهربائية فما زالت جدواها الاقتصادية تحت الدراسة في محاولة لتخفيض تكلفتها الأولية وتكلفة صيانتها وتخزينها وتحسين كفاءتها وأدائها. ويمكن تلخيص المتطلبات الأساسية الخاصة بالتصميم المناخي للمناطق الباردة كالآتي:

(أ) تصميم المبنى الذي يتيح أكبر قدر من الاستفادة من أشعة الشمس المباشرة في التدفئة.

(ب) حماية المبنى من الهواء البارد خاصة خلال فصل الشتاء.

(جـ) الاحتفاظ بالحرارة الداخلية، وتخفيض معدل تسربها إلى الخارج.

(٢ ، ٤ ، ١) التصميم المناخي للمناطق الحارة

تتمركز حدود المناخ الحار على يمين منطقة الراحة الحرارية، وينقسم إلى قسمين رئيسيين هما المناخ الحار الجاف والمناخ الحار الرطب.

ويمكن تلخيص المتطلبات الأساسية الخاصة بالتصميم المناخي لهذه الأقسام كالآتي (Saini, 1980).

أولاً : المناخ الحار الجاف

(أ) حماية الفراغ الداخلي من مفعول تسرب الحرارة الناتجة من سقوط أشعة الشمس المباشرة خلال فصل الصيف، وذلك باختيار التوجيه المناسب للفتحات والتظليل.

(ب) استعمال المواد العازلة في الغلاف الخارجي، الأسقف والحوائط.

(جـ) حماية الغلاف الخارجي من أشعة الشمس المباشرة وذلك بواسطة التظليل أو شكل المبنى أو الأسقف المزدوجة أو الحوائط الساترة. . . الخ.

(د) عندما يكون الاعتماد كليا على النظم الطبيعية في التحكم في المناخ الداخلي، كما كان الحال في المباني التقليدية، في هذه الحالة يمكن الاستفادة من خاصية السعة الحرارية بهدف تأخير وصول الحرارة القصوى إلى داخل الفراغ أثناء النهار.

(هـ) استعمال الألوان الفاتحة بالنسبة للأسطح الخارجية لغلاف المبنى من أجل تخفيض مفعول أشعة الشمس المباشرة .

(و) تصميم المبنى الذي يتيح أكبر قدر ممكن من التهوية الطبيعية وذلك للاستفادة من مفعول الهواء البارد أثناء الليل في تخفيض درجة حرارة الحوائط والأسقف و الهواء الداخلي.

(ز) الاستفادة من إمكانية التبريد بواسطة تبخر الماء من المسطحات المائية والخضراء والنوافير.

ثانيًا: المناخ الحار الرطب

(آ) حماية الفراغات الداخلية من مفعول أشعة الشمس المباشرة، خاصة خلال فصل الصيف الحار.

(ب) تصميم المبنى الذي يتيح أكبر قدر من التهوية الطبيعية وذلك من أجل تخفيض معدلات الرطوبة النسبية خاصة خلال فصل الصيف الحار.

(جـ) تفادي وجود العناصر التي قد تؤدي إلى زيادة الرطوبة، كالمسطحات المائية، والمسطحات الخضراء، والنوافير.

(٣ . ٤ . ١) السعة الحرارية لمواد البناء

إن استعمال الحوائط والأسقف السميكة ذات السعة الحرارية العالية تُعتبر من الأسس التصميمية المهمة في المناطق ذات المناخ الحار الجاف والتي انتشر استعمالها في العمارة التقليدية وأثبتت فعاليتها. إن أحد الأهداف الرئيسية من استعمال الحوائط السميكة هو تأخير وصول الذروة الحرارية إلى داخل الفراغ. تسقط أشعة الشمس على السطح الخارجي وتبدأ حرارته في الارتفاع ومن ثم تبدأ في التدفق إلى الداخل. إذا كان الحائط أو السقف سميكا وسعته الحرارية عالية يتأخر وصول الذروة الحرارية إلى الداخل. عندما تغرب الشمس تنخفض درجة حرارة الفضاء الخارجي وتنخفض درجة حرارة السطح الخارجي للحائط تدريجيا نتيجة للتبادل الحراري بواسطة تيارات الحَمْل والإشعاع غير المباشر. وعندما تصل درجة حرارة السطح الخارجي إلى مستوى أقل من درجة حرارة السطح الداخلي ينعكس مسار تدفق الحرارة ليصير من الداخل إلى الخارج. وعندما يكون الفرق بين درجة الحرارة العليا ودرجة الحرارة الصغرى حوالي ٢٠ م وإذا كان سمك حائط اللبن حوالي ٣٠ سنتيمترا فإن درجة الحرارة الداخلية تكون أقل من درجة الحرارة الخارجية بحوالي ١٠م ويكون وصول ذروة الحرارة بعد ١٢ساعة. وهذا يعني أن أكثر فترة باردة بالليل يكون مفعولها في الفراغ الداخلي عند منتصف النهار. وبالتالي تقوم الأجزاء الباردة من غلاف المبنى كالأسقف والحوائط الخارجية بامتصاص الحرارة من القواطع الداخلية والأثاث. ونتيجة لذلك يستطيع الإنسان التخلص من الحرارة الفائضة إلى الأسطح الباردة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة. ولابد من معالجة الفتحات والنوافذ الخارجية وتوفير الحماية الكاملة لها من أشعة الشمس خاصة أثناء فصل الصيف الحار. ويُفضل استعمال الألوان الفاتحة بالنسبة

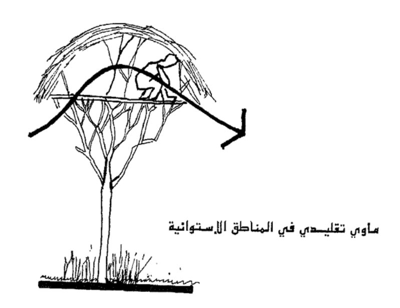
للأسطح الخارجية لغلاف المبنى لكي يساعد على انعكاس أكبر قدر من أشعة الشمس، وبالتالي يؤدي إلى انخفاض الحرارة التي يمتصها السطح من أشعة الشمس المباشرة.

(١،٤،٤) التهوية الطبيعية

عندما تكون معدلات درجة حرارة الهواء أثناء الليل منخفضة نسبيا، يكون بالإمكان الاستفادة من النسيم البارد في انخفاض درجة حرارة المُنشأ. في هذه الحالة تكون الفرصة مواتية للاستفادة من التباين في ضغط الهواء وذلك بالتوزيع الملائم والمعروف للفتحات التي تساعد على توزيعه وانسيابه داخل الفراغ وبالسرعة المناسبة (راجع الفصل الخامس). وقد أثبتت التهوية الطبيعية أثناء الليل كفاءة عالية في المناطق ذات المناخ الحار الجاف والتي تتميّز بالتباين الكبير في درجة حرارة الهواء القصوى والدنيا. يجب توفير التهوية الجيدة أثناء الليل وذلك بالسماح للهواء البارد بالمرور على أجزاء المبنى المختلفة ليمتص أكبر قدر من الحرارة المخزونة بواسطة الحوائط والأسقف والأرضيات. أما أثناء النهار فيتم قفل النوافذ والفتحات لمنع هروب الهواء البارد إلى الخارج ودخول الهواء الحار إلى الداخل. وعندما تكون معدلات التهوية الطبيعية غير كافية لتوفير حركة الهواء اللازمة لفقدان الحرارة بواسطة تيارات الحَمْل والتبخر يمكن الاستفادة من الملاقف الهوائية قبل اللجوء إلى الوسائل الميكانيكية. والمبنى المثالي في هذه الحالة هو الذي يحتوي على حوائط وأسقف سميكة من مواد ذات سعة حرارية عالية ومواد عازلة وأسطح خارجية بألوان فاتحة تعكس أكبر كمية من أشعة الشمس المباشرة وحوائط وأسقف ونوافذ محمية حماية كاملة من أشعة الشمس المباشرة ومنعها من النفاذ إلى الفراغات الداخلية مع توفير التهوية الطبيعية اللازمة للاستفادة من الهواء البارد أثناء الليل.

أما بالنسبة للمناطق ذات المناخ الحار الرطب فإن التباين في درجات الحرارة يكون بسيطا جدا وبالتالي فإن استعمال الحوائط والأسقف السميكة ذات السعة الحرارية العالية يكون غير مفيد. في هذه الحالة يكون الحل الأمثل باستعمال الحوائط والأسقف الرقيقة السماكة مثل الأخشاب والمواد الليفية والمواد العازلة. إن معظم المباني التقليدية والتي تمّ تشييدها في هذه المناطق كانت تبنى من القش والتبن ومفتوحة من الجانبين في اتجاه الهواء ومرتفعة عن سطح الأرض للاستفادة القصوى من حركة الهواء للتخلص من مفعول ارتفاع الرطوبة كما هو واضح في الشكل (١،٧). هنالك





شكل رقم (١ , ٧). التهوية الطبيعية في المناطق الاستوائية.

المصدر: Konya (1984). p. 43

إمكانية الحصول على المناخ الملائم شريطة أن يكون المبنى محميا حماية كاملة من أشعة الشمس المباشرة، ومعزولا عزلا كاملا بواسطة العزل الحراري الفعّال، وأن يكون السطح الخارجي للحوائط والأسقف عاكسا للحرارة وأن تكون الأرضيات المحيطة بالمبنى غير عاكسة للحرارة الناتجة من أشعة الشمس المباشرة. وفي حالة توافر سرعة الهواء بمعدلات مرتفعة يمكن تحقيق الراحة الحرارية للإنسان عندما يكون جالسا ويرتدي ملابس صيفية خفيفة حتى ولو كانت درجة حرارة الهواء في حدود ٣٢°م، وذلك لأن حركة الهواء سوف تساعد على فقدان الحرارة بواسطة تيارات الحمل وتبخر العرق. أما عندما تكون التهوية الطبيعية غير كافية لتحقيق سرعة الهواء المطلوبة يكون من الضروري الاستعانة بالبدائل الصناعية والميكانيكية كالمراوح .

(١ . ٤ . ٥) التبريد بواسطة التبخر

إن مفعول التبريد بواسطة التبخر قد أظهر فعالية كبيرة خاصة في المناطق ذات المناخ الحار الجاف. ولكن نسبة لقلة الماء في كثير من هذه المناطق، فإن استعمال وسيلة تبخر الماء لتبريد الفراغات الداخلية ظلت محدودة. ومن الأمثلة الجيدة في هذا المجال استعمال تبخر الماء لتلطيف المناخ في الحدائق الفارسية التي إنتشرت فيها النوافير. نتيجة لتبخر الماء المستمر قد ترتفع نسبة الرطوبة إلى معدلات عالية تصل في بعض الأحيان إلى ١٠٠٪، في هذه الحالة لابد من التخلص من الهواء المشبع بالرطوبة واستبداله بهواء قليل الرطوبة من الخارج يساعد في استمرار عملية التبخر بالمعدلات المطلوبة.

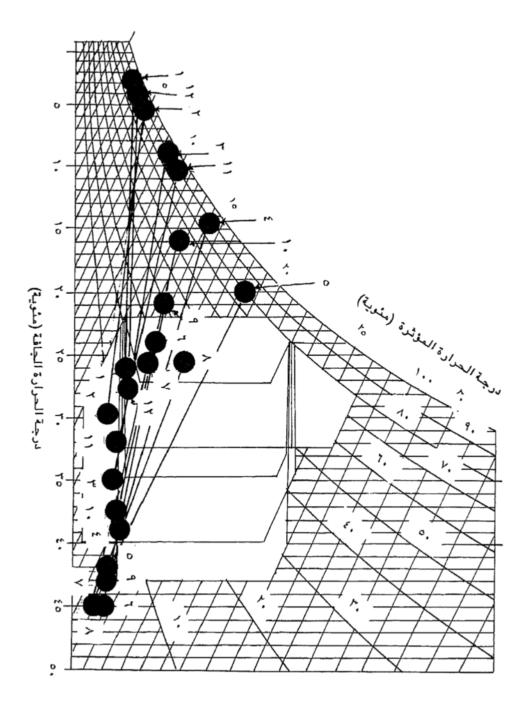
(١ . ٤ . ٦) التصميم المناخي لمدينة الرياض

لقد تم شرح الكيفية التي يمكن بموجبها دراسة وتحليل المناخ لأي موقع من أجل تحديد الأسس العامة للتصميم المناخي بواسطة بياني خواص الهواء. لاشك أن الاستعانة ببياني خواص الهواء في تحليل المناخ وتحديد المتطلبات الأساسية للتصميم المعماري في المراحل الأولية يُعتبر وسيلة فعالة وضرورية لتصميم المبنى. بعد الحصول على البيانات المناخية اللازمة وإدخالها على هذا البياني وعلى ضوء النتائج المستخلصة منه يمكن وضع الأسس التصميمية التي

تســاعد على الاستفــادة القــصوى من خــصائص المناخ والبدائل التصــميمية الملائمة لــه. إن التحدي الذي يواجــهه الكثير مــن المصممين هو إيــجاد الحل المعماري الأمثل لمبنى يتعرض إلى تباينات مناخية واضحة خلال العام، إذ قد يتعرض المبنى إلى أشعــة الشمس الشديدة الحرارة خلال فصل الصــيف وإلى الهواء البارد خــلال فصل الشــتاء. يحتاج المصمم في هذه الحالة إلى دراسات وتحليلات دقيقة تأخذ في الاعتبار أهمية كل فصل من الفصول، كطول الفـترة ومعدلات درجات الحرارة والرطوبة ومقارنتها بمتطلبات الراحة الحرارية للإنسان، ومن ثم يتم وضع الأسس التصميمية الملائمة. في بعض الأحيان قد يكون من الممكن استعمال فكرة تصميمية واحدة تؤدي الغرض المطلوب خلال فـصلين مختلفين. مثال ذلك استعمال عنصر الماء كمستودع لتخزين الحرارة وذلك نسبة لما يتميَّز به الماء من سعة حرارية عالية وتكلفة منخفضة. لقد أثبتت التجارب أنه يمكن استعمال الماء أو أي مــادة أخرى لها سعة حرارية عالية من أجل التــدفئة خلال فصل الشــتاء والتبريد خلال فصل الصيــف (Milne and Givoni, 1979).

تقع مدينة الرياض عاصمة المملكة العربية السعودية في هضبة نجد على خط عرض ٢٤° و ٤٢َ شمال خط الإستواء وخط طول ٤٦° و ٤٤َ شرق خط قرينتش وعلى ارتفاع ٦٢٤ مترا فوق سطح البحر. من خلال تحليل البيانات المناخية لمدينة الرياض يتضح لنا أن فصل الصيف يمتد من يونية إلى سبتمبر ويتــراوح المــعــدل الشهري لدرجــة الحرارة الدنيا من ٢١,٥ °م إلى ٢٤,٥ °م، أما المعدل الشهري لدرجة الحرارة القصوي فيتراوح من ٤٢,٠ °م إلى ٤٥,٠ °م (مصلحة الأرصاد، ١٩٨١ والإدارة العامة للأرصاد، ١٩٨٨). أما بالنسبة للرطوبة لنفس الفترة فإن المــيعدلات العليا تتراوح من ٣٣,٥٪ إلى ٣٩٪ والمــعدلات الصغري تتراوح من ٥٪ إلى ٦٪. من الملاحظات المهمة أن المعدلات العليا لدرجات الحرارة تتطابق مع المعدلات الصغري للرطوبة، وتكون النتيجة رياح حارة شديدة الجفاف والتي تُعرف بالسموم. لاشك أن الجفاف الشديد الذي تتمــيّز به هذه المنطقة له أهميــة كبيرة وواضحة على النمط العمراني. ومن الخصائص المناخية المهمة أيضا وجود أشعة الشمس شــبه العمودية والتى تتراوح حرارتها من ٨١٣ إلى ٩٢٩واط / متر مربع. إن التيارات الهوائية الناتجة من ارتفاع درجة الحرارة بالقرب مــن ســطــح الأرض يؤدي إلى زوابع رملية خاصة خلال فترة الظهيرة. ونتيجة للانخــفــاض

الملحوظ في معدلات الرطوبة ووجود سماء صافية في معظم الأوقات، يكــون هنالك تباين واضح في درجات الحرارة ليلاً ونهارا خلال فصــل الصيف. ونتيجة لسقوط أشعة الشمس المباشرة قد ترتفع درجة حرارة سطح الأرض إلى حوالــي ٧٠ ْم في منتصف النهار، ونتيجة لفقدان الحرارة إلى الفضاء الخارجي أثناء الليل تنخفض درجة حرارة سطح الأرض إلى حوالي ١٥ ْم. إن التباين في درجة حرارة الهواء أقل من ذلك بكثير ويصل في معظم الأحيان إلى ٢٠ ْم. إن خاصتيّ التباين في درجات الحرارة والانخفاض الواضح في معدلات الرطوبة لهما أهمية قصوى في تحديد الأسس التصميمية الملائمة لهذا المناخ. إن أسهل طريقة لإظهار البيانات المناخية على بياني خــواص الهــواء يكون بواسطة اثني عشر خطا، كل خط يمثل شهر من شهور العــام. نقطة البداية لكل خط يتم تحديدها بــنــاءً على المتوسط الأدنى لدرجة الحرارة ومعدل الرطوبة في الصباح الباكر، في حين يكون تحديــد نقطة النهاية بناءً على المتوسط الأعلى لدرجات الحرارة ومعدلات الرطوبة لوقت الظهيرة (Szokolay, 1986). إن المساحة التي تغطيها هذه الخطوط تعطي المؤشرات العامة للخصائص المناخية، فإن علاقة هذه الخطوط بالنسبة لمنطقة الراحة الحرارية ومـجموع طـولها الذي يقع داخل المنطقة تحتها أو فوقها يعكس حجم المشكــلــة المــناخية . يوضح الجدول رقم (١ , ١) معدلات الحرارة والرطوبة لمدينة الرياض والتي تم إدخالها على بياني خواص الهواء. إن بياني خواص الهواء الخاص بمدينة الرياض (الشكل ١ , ٨) يعكس لنا حقيقة مهمة، وهي أن مناخ مدينة الريــاض يغطي التقسيمات المناخية الثلاث وهي منطقة الراحة الحرارية، والمنطقة الباردة التي تتطلب التدفئة، والمنطقة الحارة التي تتطلب التبريد. إنّ الجزء الأكبر من الخطوط التي تمثل شهور يناير، وفبراير، وديسمبر يقع إلى يسار منطقة الراحة الحراريــة. وهذا يعنــي أنّ معظم الفترات خلال هذه الشهور تقع ضمن المنطقة الــشــديــدة البرودة، في حــين أنّ الجزء الباقي منها يمر أسفل منطقة الراحة الحــراريــة. أمــا الخطوط التي تمثل مارس، وأبريل، وأكتوبر، ونوفمبر فإنّ جزءا منها يقع إلى يسار منطقة الراحة الحرارية، وجزءا مماثلا يقع إلى اليمين من منطقة الراحة الحــراريــة (جدول ١ , ١)، في حين أن الجزء المتبقي يمر بمنطقة الراحة الحرارية. وهذا يعني أنّ المناخ الحراري خلال هذه الشهور يتضمن ثلاثة أقسام رئــيــســيــة؛ بــارد، ومعتدل، وحار. أمّا الخطــوط الــتي تمثل مايو، ويونية، ويوليــة، وأغسطس،



شكل (١,٨). بياني خواص الهواء لمدينة الرياض.

وسبتمبر. فإن الجزء الأكبر منها يقع إلي يمين منطقة الراحة الحرارية وجزء صغير منها يمر بمنطقة الراحة الحرارية، والجزء الثالث يقع إلى اليسار منها وبذلك فإن هذه الفترة تتضمن الأقسام الثلاثة للمناخ الحار. وبشكل عام يمكن تلخيص أساسيات التصميم المناخي لمدينة الرياض كالتالي (Saeed, 1989):

١ ـ الفترة الباردة :- ديسمبر - يناير - فبراير

تتميز هذه الفترة بالانخفاض الواضح في درجة حرارة الهواء، والارتفاع الملحوظ في الرطوبة خاصة أثناء الليل، وهي بالتالي تتطلب التدفئة. أمّا أثناء النهار ترتفع درجة حرارة الهواء قليلا وتنخفض معدلات الرطوبة، وبالتالي تكون الفرصة متاحة للاستفادة من أشعة الشمس المباشرة في التدفئة. هنالك أيضا إمكانية تخزين الحرارة الناتجة من أشعة الشمس المباشرة بواسطة الحوائط السميكة، والماء، والحجارة . . . الخ . وذلك للاستفادة منها أثناء الليل البارد .

جدول رقم (١ ، ١). معدلات الحرارة والرطوبة لمدينة الرياض للفترة من ١٩٧٦ ـ ١٩٨١م

الشهور	المعدل الشهري لدرجات الحرارة		المعدل الشهري للرطوبة	
	القصوى	الدنيا	القصوى	الدنيا
يناير	٢٦	٢,٩	٩٧٪	١٧٪
فبراير	٢٩,٤	٥,٤	٩٠٪	١٢٪
مارس	٣٤,٥	٨,٧	٩١٪	٩٪
أبريل	٣٩,٢	١٤,٥	٨٨٪	٧٪
مايو	٤٢,٤	٢٠,١	٧٨٪	٦٪
يونية	٤٤,٥	٢٣,٧	٣٢٪	٤٪
يولية	٤٤,٧	٢٤,٤	٢٧٪	٥٪
أغسطس	٤٤,٨	٢٥,٧	٣٨٪	٥٪
سبتمبر	٤٢,٩	٢١,٣	٤٣٪	٥٪
أكتوبر	٣٧,٨	١٥,٥	٦٤٪	٨٪
نوفمبر	٣٢,٣	٩,٩	٨٤٪	٩٪
ديسمبر	٢٧,٧	٤,٢	٩٧٪	١٤٪

المصدر : مصلحة الأرصاد، قسم المناخ، الرياض (١٩٦٦ - ١٩٨١).

٢ ـ الفترة المعتدلة: مارس - أبريل - أكتوبر - نوفمبر

تُعتبر هذه الفترة معتدلة، حيث يتميز نهارها بارتفاع درجة الحرارة قليلا، مع انخفاض واضح في معدلات الرطوبة، مما يتيح الاستفادة من التبريد بواسطة التبخر من المسطحات المائية، والمسطحات الخضراء، والنوافير. أمّا فترات الليل غالبا ما تكون معتدلة، وبذلك يمكن الاستفادة من التهوية الطبيعية.

٣ ـ الفترة الحارة: مايو - يونية - يولية - أغسطس - سبتمبر

تتميز هذه الفترة بالارتفاع الملحوظ في درجات الحرارة وانخفاض واضح في معدلات الرطوبة النسبية، خاصة أثناء النهار، وهي بالتالي تتطلب الاستعانة بالوسائل التصميمية المتاحة، كالأحواش، وملاقف الهواء، والمواد العازلة للحرارة، والتبريد بواسطة التبخر . . . الخ. قبل اللجوء إلى الوسائل الميكانيكية.

الفصل الثاني

المناخ والإنسان

● الاتزان الحراري ● تنظيم الحرارة ● اختلال الاتزان الحراري
● إحساس الإنسان بالحرارة ● الراحة الحرارية

(١ , ٢) الاتزان الحراري Heat Balance

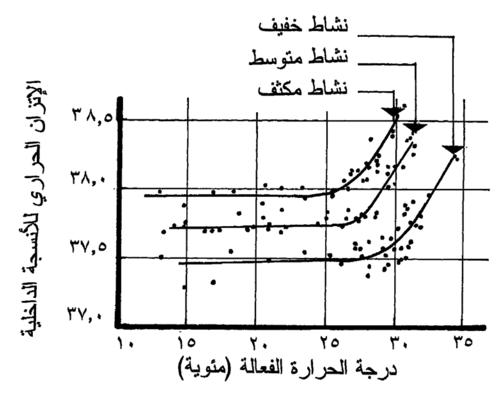
تشتمل أنشطة الحياة اليومية على العمل وما يرتبط به من جهد وإجهاد وراحة بمختلف مستوياتها. ويحتاج جسم الإنسان إلى فترات من الراحة والترفيه والنوم لكي يستعيد نشاطه بعد العمل الجاد. إذا تعرض الإنسان إلى إجهاد حراري thermal stress لمدة زمنية كبيرة فإنّ ذلك يؤدي إلى اعتلال صحته بل وربما إلى فقدانه للحياة نتيجة للبرودة الشديدة hypothermia أو لضربة الشمس heat stroke نتيجة للحرارة العالية. إن الحَمْل الحراري على الإنسان يكون نتيجة لعاملين أساسيين، العامل الأول هو الحَمْل الحراري الناتج عن عملية هضم الطعام metabolism، والعامل الثاني هو التبادل الحراري بين المناخ المحيط والإنسان (Robertshow, 1963). إن معظم العمليات الكيموحيوية في أنسجة الجسم والعمل العضلي تحتاج إلى الطاقة التي يتحصل عليها الجسم نتيجة لعملية هضم الطعام. وعملية هضم الطعام وتفاعل نتاجها مع الأكسجين يوفر للجسم الطاقة التي يحتاجها للقيام بالنشاطات المختلفة مثل حركة الأعضاء والعضلات، والنشاطات غير الإرادية للأنسجة الداخلية وجريان الدم، والتنفس وإفرازات الغدد الداخلية وإفراز العرق ونمو الأنسجة. عندما يقوم الإنسان بعمل ما، يزداد معدل إنتاج الطاقة ليغطي احتياجات العمل. وبما أن كفاءة جسم الإنسان تُعتبر منخفضة نسبيا، فإن الطاقة التي يولدها الجسم غالبا ماتكون أكثر من كمية الطاقة الفعلية

التي يحتاجها لأداء ذلك النشاط، وبالتالي يتحول فائض الطاقة إلى حرارة يستغلها الجسم في عملية الاتزان الحراري، ويتعين عليه التخلص منها إلى المناخ المحيط. وتُعتبر كفاءة جسم الإنسان في حدود ٢٠٪، وهذا يعني أن جسم الإنسان يستغل فقط مايعادل ٢٠٪ من الطاقة التي ينتجها من أجل أداء نشاطاته المختلفة، بينما تتحول النسبة الباقية وهي حوالي ٨٠٪ إلى حرارة يتوجب على الجسم التخلص منها (Koenigsberger *et al.*, 1973). ولقد حبا الله سبحانه وتعالى الإنسان بخصائص فسيُولوجية تجعله يتأقلم ويعيش في كثير من المواقع ذات التباين الكبير والواضح في العناصر المناخية التي تؤثر على إحساس الإنسان بالحرارة، كالإشعاع، ودرجة حرارة الهواء، ونسبة الرطوبة وسرعة الهواء. فقد تأقلم الإنسان على المناخ البارد جدا كالمناخ القطبي في الإسكيمو، وتأقلم أيضا على المناخ الحار جدا كمناخ الصحاري الاستوائية. ورغم هذه الاختلافات الكبيرة فقد استطاع الإنسان أن يحتفظ بتوازنه الحراري ويقوم بنشاطاته اليومية. إن التوازن الحراري ضروري جدا لحياة الإنسان وللاحتفاظ بدرجة حرارة أنسجته الداخلية internal tissue temperature في حدود المعدل المطلوب وهو ٣٧,٢ °م (Koeingsberger *et al.*, 1973). يستطيع الإنسان الاحتفاظ باتزانه الحراري بواسطة نظام خاص يعرف بجهاز تنظيم الحرارة thermoregulatory system.

(٢,٢) تنظيم الحرارة Thermoregulation

من أجل أن يظل الإنسان على قيد الحياة يجب عليه أن يحتفظ بدرجة حرارة أنسجته الداخلية في حدود ٣٧,٢ °م. ولكي يتسنى لجسم الإنسان الاحتفاظ بدرجة حرارة أنسجته الداخلية في حدود هذا النطاق الضيق، لابد له من جهاز يقوم بعملية تنظيم التبادل الحراري بينه والمناخ المحيط به. لقد خص الله سبحانه وتعالى جسم الإنسان بمقدرة فائقة تمكنه من التحكم في اتزانه الحراري مع المناخ المحيط به، والمحافظة على درجة حرارة أنسجته الداخلية في نطاق الحد المطلوب للحياة رغم التباين الكبير الذي يحدث في المناخ المحيط. إن نظام التحكم في الاتزان الحراري الموجود داخل جسم الإنسان يتميّز بدقة فائقة وقدرة متناهية. وإلى يومنا هذا لم

يتوصل العلم البشري إلى التفاصيل الدقيقة عن الكيفية التي يعمل بها نظام التحكم الحراري الموجود داخل الجسم، والمعلومات المتوافرة لـدينا تُعتبر معـلومات أولية ولاتعكس كـل الحقيقة. إن جهاز التـحكم الحراري لدي الإنسان hypothalamus والموجود ضمن أنسجة المخ، له الدور الأساسي في تنظيم معـظم النشاطات المهـمة كتناول الطعام، والإشراف على عملية اتزان الماء داخل الجسم، وتنظيم الحرارة. . . الخ (McIntyre, 1980). عند حدوث خلل في الاتزان الحراري نتيجة لارتفاع درجة حرارة المناخ المحيط، يقوم القسم الخاص بالتحكم في الحرارة بإرسال إشعار إلى نظام فقدان الحرارة داخل جسم الإنسان، والذي يتكون من حـركة الدم وغـدد التعرق لزيادة معـدل فقـدان الحرارة إلى المـناخ المحـيط. يوضح الشكل رقم (١ , ٢) العلاقة بين درجة الحرارة الفعّالة للـمناخ المحيط ودرجة حرارة الأنســجة الداخلـية للإنسان.



شكل رقم (١ , ٢). درجة حرارة الأنسجة الداخلية لجسم الإنسان وعلاقتها بدرجة حرارة المناخ المحيط.

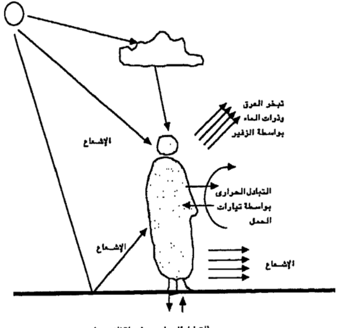
المصدر: McIntyre (1980). p. 107

ويتضح من الشكل أن نظام الاتــزان الحراري داخل جسم الإنسان يمكنه الاحتفاظ بدرجة حرارة الأنــسجة الداخلية فــي نطاق الحد المطلوب علــى الرغم من التبايــن الواضح في درجة حرارة المناخ المحيط وهذا يثبت فعالية وكفاءة هذا النظام. يتضح أيضا من الشكل أن نـطاق الحد المطلوب لدرجة حرارة الأنسجة الـداخلية يختلف اختلافا بسيطا باختلاف نوعـية النشاط الذي يقوم به الشخص. وكلما ازداد نشاط الأعضاء والأنسجة ارتفعت كمية الطاقـة التي يحتاجها الجسم وزادت كمية الحرارة التي يجب عليه أن يتخلص منها إلى المناخ المحيط. يتم التبادل الحراري بين جســم الإنسان والمناخ المحيط به (شكل رقم ٢ , ٢) على النحو التالي:

١ ـ التبادل الحراري بواسطة الإشعاع.

٢ ـ التبادل الحراري بواسطة تيارات الحَمْل.

٣ ـ فقدان الحرارة بواسطة التبخر.



شكل رقم (٢ , ٢). التبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط.

المصدر: Kownigsberger (1973). p. 43

(١ ,٢ ,٢) التبادل الحراري بواسطة الإشعاع

ينقسم الإشعاع إلى قسمين، القسم الأول هو الإشعاع الشمسي solar radiation والذي يعرف أحيانا بالأشـعة ذات الموجات القصيرة short wave radiation والذي يأتي أساسا من الشـمس، وقد يصـل معدله إلى ٨٠٠ واط/متـر مربع في فترة الظهيرة، في حين أنّ إنتاج الحرارة داخل جسم الإنسان نتيجة لعملية هضم الطعام تكون في حدود ٦٠ واط / متر مربع. والقسـم الثاني هو الإشعاع غير المباشر أو الأشعة ذات الموجات الطويلة long wave radiation . يتحكم لون الجسم الخارجي في تحديد النسبة التي يمتصها من أشعة الشمس المباشرة، حيث يزيد مـعدل امتصاص اللون الأسود بحوالي ٢٠٪ مقارنة بمعـدل امتصاص اللـون الأبيض في حين أن تفاعل الأجسام مع الأشعة ذات الموجات الطويلـة لايتأثر باللون الخارجي للجسم (Robertshow, 1983) . يكتسب جسم الإنسان الحرارة نتيجة لتعرضه لأشعة الشمس المباشرة في حين أنه قد يكتسب أو يفقد الحرارة نتيجة للتبادل الحراري بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة. يكتسب جسم الإنسان الحرارة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة عندما تكون درجة حرارة الأسطح المواجـهة له أعلى من درجة حرارته أو درجة حرارة ملابسه الخارجية. بينما يفقد جسم الإنسان الحرارة بواسطة الأشعة ذات المـوجات الطويلة عنـدمـا تكون درجة حرارته، أو درجة حرارة ملابسه الخارجية أعلى مـن درجة حرارة الأسطح المواجـهة له. إن معدل التـبادل الحراري بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة بين الإنسان والمناخ المحيط به يعتمد على درجة حرارة جسم الإنسان ومتوسط درجة حرارة الأسطح المواجهة له ومـعامل الانبعاثية لجسم الإنسان، ويمكن حسابه بواسطة المعادلة التالية:

$$R_e = \varepsilon \times h_r \times f_{cl} \times f_{eff}(T_{cl} - T_r) \qquad (٢,١)$$

حيث

R_e = معدل التبادل الحراري بين جسم الإنسان والمناخ (واط/ متر مربع).

ε = معامل انبعاثية جسم الإنسان.

h_r = معامل الإشعـاع في درجة الحرارة العادية والذي يعادل $4.6\ (1+0.01\ T_r)$ (واط/ متر مربع – درجة مئوية مطلقة).

f_{cl} = معامل العزل الحراري للملابس.

f_{eff} = النسبة الفعّالة من جسم الإنسان والتي تؤثر على عملية التبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط به بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة.

T_{cl} = درجة حرارة الملابس الخارجية (درجة مئوية).
T_r = متوسط درجة الحرارة الإشعاعية للأسطح المحيطة بجسم الإنسان (درجة مئوية، مطلقة).

(٢ ، ٢ ، ٢) التبادل الحراري بواسطة الحَمْل Convection heat exchange

تتم عمليـــة التبادل الحـــراري بين الإنسان والمناخ المحيـــط به بواســطـة تيارات الحَــمْل convection currents. عندما تلامس جزيئات الهواء السطح الخارجي لجسم الإنسان أو تلامس ملابسه الخارجية، يتم التبادل الحراري بين الهواء من جهة وجسم الإنسان وملابسه الخارجية من جهة أخرى. يكتسب الإنسان الحرارة نتيجة لاحتكاكه بالهواء المحيط به إذا كانت درجة حرارة الهواء أعلى من درجة حــرارة السطح الخارجي لجسم الإنسان، ويفقد الإنسان الحرارة إذا كانت درجــة حــرارة الهواء أقل من درجة حرارة السطح الخارجي لجسم الإنسان. وعندما تكون درجة حرارة جسم الإنسان أعلى من درجة حرارة الهواء المحيط به، تلامس جزيئات الهواء جسم الإنسان فتكتـسب حرارة وتتمدد وتصير أقل كثافة فتـندفع إلى أعلى وتأخذ معها كمية من الحرارة. وتسـتمر حركة الهواء على هذا المنوال ويطلق عليها اســم تيارات الحَمْل الطبيـعي natural convection. أما إذا كانت هناك وسائل ميكانيكـية كالمراوح أو مراوح سـحب الهواء التي تساعد على زيادة سرعة الهواء حول الجسم، فإنّ التيار الهوائي الذي ينشأ نتيجة لهذه الوسائل الميكانيكية يطلق عليه اسم تيار الحَمْل القسري forced convection. ومقارنة بقوانين التبادل الحراري بواسطة الإشعاع الواضحة والمدروسة، فإن معدل التبادل الحراري بواسطة تـيــارات الحَمْل تُعتبر ضعيفة ومعقدة. وقد قام العديد من الباحثين في هذا المجال بمحاولة الـتـوصــل إلى معادلـة يـتم بواسطتها تحديد معدل فقدان الحرارة بواسطة تيارات الحَمْل (Carroll & Visser, 1966; Mitchell *et al.*, 1969; Kerslake, 1972; Nishi & Gagge, 1970 and Kuehn *et al.*, 1970).

وتُعتبر المعادلة الحسابية التالية هي الأنسب (McIntyre, 1980):

$$C = h_c \ (T_{cL} - T_a) \qquad (٢ ، ٢)$$

C = معدل فقدان الحرارة لكل متر مربع نتيجة لتيارات الحَمْل (واط/ متر مربع – درجة مئوية).

h_c = معامل انتقال الحرارة بواسطة تيارات الحَمْل (واط/متر مربع).
T_{cL} = متوسط درجة حرارة السطح الخارجي للملابس (درجة مئوية).
T_a = متوسط درجة حرارة الهواء المحيط بالإنسان (درجة مئوية).

أما معامل انتقال الحرارة بواسطة تيـارات الحَمْل فيمكن تقديره بواسطـة المعادلة التالية (Kerslake, 1972):

$$h_c = 8.3\ \sqrt{v} \qquad (٢,٣)$$

حيث

v = سرعة الهواء (متر/ثانية).

(٢,٢,٣) فقدان الحرارة بواسطة التبخر Evaporative heat loss

غالبا مايضطر الإنسان القيام ببعض الأعمال التي تحتاج إلى مجهود عضلي شاق كالعمل في المصانع، أو لربما يكون مسكنه في منطقة من منـاطـق المنـاخ الاستوائي أو المداري فيتعرض إلى درجات حرارة عالية. عندما يكون المناخ المحيط بالإنسان معتدلا، فإنه يستطيع الحفاظ علي اتزانه الحراري من خلال الـتبـادل الحراري بواسطة تيارا ت الحَمْل والأشعة ذات الموجات الطويلة. أمّا عندما يتعرض جـسـم الإنسان إلى ضـغط حراري عـال، ويتـعذر علـيه المحافـظة علي اتزانـه الحراري، فإنه يلجأ إلى وسيلة فقدان الحرارة بواسطة التبخر. تتم عملية التبخر من جسم الإنسان كالآتي:

(أ) تبخر العرق من السطح الخارجي لجسم الإنسان.
(ب) تبخر ذرات الماء من الرئة أثناء عملية الزفير.

(أ) تبخر العرق Sweat evaporation

يحتوي جسم الإنسان على العديد من الغدد العرقـيـة والتي تقوم بإفـراز العرق وهي توجد في الجلد. تقوم هذه الغدد بامتصاص الماء والأملاح من الدم وتنشره على سطح الجسم في شكل عرق. وعندما يتبخر العرق من على سطـح الجلد فإنه يحتاج إلى طاقة حرارية تعرف باسم الطاقة الحرارية الكامنة للتبـخـر latent heat of vaporisation، والتي قد يتحصل على جزء منها مـن الجـسـم، وبالتالي تنخفض درجة حرارته. ونتيجة لانخفاض درجة حرارة الجلد تنخفـض

درجة حرارة الدم الذي يجري في الشعيرات الدموية الموجودة في الجلد. ويعود الدم إلى داخل الجسم، وبالتالي يساعد في خفض درجة حرارة الأنسجة الداخلية internal tissue temperature. إن العامل الرئيسي الذي يحدد معدل فقدان الحرارة من جسم الإنسان هو معدل تبخر العرق وليس معدل إفراز العرق. يرتفع معدل فقدان الحرارة عندما يكون معدل التبخر أعلى من معدل إفراز العرق، ويقل معدل فقدان الحرارة من جسم الإنسان عندما يكون معدل إفراز العرق أعلى من معدل التبخر. إن العرق الذي يسقط بعيدا عن جسم الإنسان لا يكون له أي مفعول أو أثر في فقدان الحرارة من الجسم. أما العرق الذي يلتصق بالملابس ويتبخر، غالبا ما يتحصل على الحرارة المطلوبة للتبخر من الملابس نفسها وبالتالي يقل مفعول انخفاض الحرارة الذي قد يستفيد منه الجسم. ويمكن حساب كمية الحرارة المفقودة من جسم الإنسان نتيجة لتبخر العرق بواسطة المعادلة التالية (McIntyre, 1980):

$$E_{max} = h_e \left(P_{SS\Re} - P_a \right) \qquad (٢,٤)$$

حيث

E_{max} = كمية الحرارة المفقودة (واط/ متر مربع).

h_e = معامل انتقال الحرارة بواسطة التبخر (واط/متر مربع-مليبار).

$P_{SS\Re}$ = ضغط بخار الماء في مرحلة التشبع عندما تكون درجة حرارة الهواء تعادل درجة حرارة سطح جسم الإنسان (مليبار).

P_a = الضغط الجوي (مليبار).

ويتم حساب معامل انتقال الحرارة الخاص بالتبخر بواسطة المعادلة التالية :-

$$h_e = 13.7 \sqrt{v} \qquad (٢,٥)$$

حيث

v = سرعة الهواء (متر/ ثانية).

(ب) تبخر ذرات الماء من الرئة Respiration heat loss

تُعتبر عملية تبخر الماء من الرئة وسيلة من وسائل فقدان الحرارة بواسطة التبخر، ولكنها لا تكون بنفس الكفاءة والفعالية التي تتميّز بها عملية تبخر العرق من سطح الجسم. إن دخول الهواء إلى الرئة أثناء عملية الشهيق يؤدي إلى تشبع الهواء بالماء وهو في نفس درجة حرارة الأنسجة الداخلية للجسم. وعند الزفير تتبخر ذرات الماء،

وتؤدي إلى انخفاض في درجة حرارة الهواء ومن ثـمّ تنخفض درجة حرارة الأنسجة الداخليـة للرئة. ولقد قـام بعض الباحثـين بمحاولات عديدة لتـحديد معدل فقدان الحرارة بواسطة التنفس (McCutchan & Taylor, 1950 and Aikas & Piiron, 1963) ، وتمّ التوصل إلى معادلتين لتحديد معدل فقدان الحرارة. المعادلة الأولى لتحديـد معدل فقدان الحرارة المحسوسة وهي كالآتي (Fanger, 1972):

$$C_{res} = 0.0014\,M\,(34 - T_a) \qquad (٢,٦)$$

حيث

C_{res} = معدل فقدان الحرارة المحسوسة لكل متر مربع من جسم الإنسان (واط/ متر مربع).

M = الحرارة الفائضة نتيجة لعملية هضم الطعام (واط/ متر مربع).

T_a = متوسط درجة حرارة الهواء المحيط بالإنسان (درجة مئوية).

أما المعادلة الثانية والتي تحدد معدل فقدان الحرارة الكامنة أثناء عملية التنفس فهي كالآتي (Fanger, 1972):

$$E_{res} = 0.0017\,M\,(58.6 - P_a) \qquad (٢,٧)$$

حيث

E_{res} = معدل فقدان الحرارة الكامنة لكل متر مربع من جسم الإنسان (واط/ متر مربع).

P_a = ضغط بخار الماء في الهواء المحيط (مليبار).

بما أن المهمة الأساسية لجهاز تنظيم الحرارة هو الحفاظ على درجة حـرارة الأنسجة الداخلية في النطاق المطلوب، يمكن الافتراض أنه عندما يتعرض الإنسان للمناخ المعتدل لفترة طويلة وهو يؤدي النشاط نفسه، فهو في هذه الحالة يكون في مرحلة الاتزان الحراري. وهذا يعني أن معدل إنتاج الطاقة الحرارية يتساوى مـع معدل فقدان الحرارة إلى المناخ المحيط.

(٢,٣) اختلال الإتزان الحراري

عندما يتعرض الإنسان للحرارة الشديدة لفتـرة طويلة، قد يختل تـوازنـه وينْشـلّ ذهنـه، وينهـار تماما ويصاب بضربة الشمـس heat stroke وهي المرحلة التي تصل فيها درجة حرارة الأنسجة الداخلية للجسم إلى مستوى تختل فـيـهـا نشاطاته ويصعب عليه تفادي الانهيار الكامل الذي قد يتبعه فقدانه للحياة (Shibolet

et al., 1976). هناك صعوبات عديدة تجعل من المستحيل تحديد درجة حرارة الأنسجة الداخلية التي يحدث عندها الانهيار الكامل، ولكن بعض الباحثين قاموا ببعض الدراسات والتجارب الميدانية، مثال ذلك ضربات الشمس التي أصابت بعض الحجاج بمكة المكرمة عام ١٩٨٣م (Attia and Khojali, 1983). وقد أثبتت هذه الدراسات أن بعض الحجاج الذين تم علاجهم بعد إصابتهم من ضربة الشمس كانت درجة حرارة أنسجتهم الداخلية قد وصلت إلى ٤٦,٥ °م. إن انعدام التأقلم acclimatization على المناخ الحار قد يسبب عدم المقدرة على إفراز العرق بالمعدل المطلوب في حالة تعرض الإنسان إلى درجة حرارة مرتفعة، وبذلك يفقد الجسم فرصة الاستفادة الكاملة من التبريد بواسطة التبخر. لذلك فإن الأشخاص الذين يعيشون في المناطق ذات المناخ البارد، أو أولئك الذين يقضون فترات طويلة من حياتهم اليومية في مناخ يعتمد على التكييف الاصطناعي، يتأثرون بضربة الشمس أكثر من غيرهم. وكذلك عندما يتعرض الإنسان للبرودة الشديدة hypothermia وتنخفض درجة حرارة أنسجته الداخلية إلى معدلات خطيرة تصل إلى مرحلة اختلال الاتزان الحراري، قد يفقد السيطرة على نشاطه وذهنه ويَشْل تفكيره ويفقد حياته، كما في حالة ضربة الشمس. كذلك يصعب تحديد درجة حرارة الأنسجة الداخلية التي تؤدي الي الانهيار التام نتيجة للبرودة الشديدة. ولكن هناك بعض الحوادث المتفرقة التي تمّ تسجيلها والتي فقد فيها بعض الأشخاص حياتهم نتيجة لتعرضهم للبرودة الشديدة. من ناحية عامة يُعتبر مفعول البرودة الشديدة أقل خطورة من مفعول الحرارة الشديدة. وذلك يرجع إلى عاملين مهمين، العامل الأول الوقت الذي تحتاج إليه البرودة الشديدة لكي تؤثر على جسم الإنسان، والعامل الثاني إمكانيات المقاومة المتوافرة لدى جسم الإنسان للبرودة الشديدة مقارنة بالحرارة الشديدة. من المعروف أن الانهيار التام نتيجة للبرودة الشديدة يحدث عندما تنخفض درجة حرارة الأنسجة الداخلية إلى معدلات أقل من ٣٥ °م (Kealing, 1986) . وعندما تنخفض درجة الحرارة من ٣٥ ° إلى ٣٢ °م يتفاعل الجسم معها بواسطة الارتعاش shivering، وأي انخفاض آخر قد يؤدي إلى هبوط عام في ضربات القلب ومعدل التنفس، وبعدها يحدث إغماء كامل وقد يفقد الإنسان حياته. ولقد أُجريت العديد من التجارب على بعض المتطوعين تحت الإشراف الكامل والعناية المركزة والتي تمّ بموجبها خفض درجة

حرارة الأنسجة الداخلية إلى حوالي ١٨°م، وظل الشخص المعني في غيبوبة كاملة لفترة عشر ساعات وقد عاد إليه وعيه الكامل عندما ارتفعت درجة حرارته إلى ٢٨ °م (Dill and Forbes, 1941).

(٤ , ٢) إحساس الإنسان بالحرارة

لقد قام الكثير من الباحثين في مجال دراسة تفاعل الإنسان مع المناخ الحراري بالعديد من الدراسات والتجارب الميدانية بهدف وضع أسس علمية لدراسة وتقويم إحساس الإنسان بالحرارة. ونتيجة لهذه الدراسات فقد تم التوصل إلى العديد من المداخل والمعايير والمؤشرات في هذا الصدد نذكر منها:

(أ) معدل التعرق المتوقع في أربع ساعات
the predicted 4 - hours sweat rate (McAriel *et al.*, 1946/1947).

(ب) معيار الإجهاد الناتج من ارتفاع درجة الحرارة
the heat stress index (Belding and Hatch, 1955).

(جـ) معيار الإجهاد الحراري the index of thermal stress (Givoni, 1963).

(د) معيار درجة الحرارة المتكافئة
the equivalent temperature index (Dufton, 1936).

(هـ) معيار درجة الحرارة الفعّالة
effective temperature index (Bedford, 1936).

(و) معيار درجة الحرارة الفعّالة المصححة
corrected effective temperature index (Givoni, 1963).

(ز) محصلة درجة الحرارة resultant temperature (Missenard, 1959).

(ح) معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية
standard effective temperature index (Gagge *et al.*, 1941 and Nishi & Gagge, 1974).

(ط) المعيار الشخصي للحرارة
subjective temperature index (McIntyre, 1980).

(ي) معيار الراحة الحرارية في المناطق الاستوائية
the equatorial comfort index (Webb, 1960).

ومن المعايير المهمة التي تستوجب التطرق لها المعايير التالية:
١ ـ معيار درجة الحرارة الفعّالة.
٢ ـ معيار درجة الحرارة الفعاّلة المصححة.
٣ ـ محصلة درجة الحرارة.
٤ ـ معْيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية.
٥ ـ معِيّار درجة الحرارة المتكافئة.

(١ , ٤ , ٢) معيار درجة الحرارة الفعّالة

عند ظهور نظام التكييف الاصطناعي للمباني في الولايات المتحدة الأمريكية كانت هناك ضرورة ملحة لدراسة أثر الرطوبة على إحساس الإنسان بالحرارة (McIntyre, 1980). هذه الضرورة جعلت جمعية مهندسي التدفئة والتبريد الأمريكية ASHRAE تفكر في إنشاء معمل خاص بها لإجراء الدراسات والتجارب في مجال التكييف. وفعلا تمّ إنشاء المعمل في مدينة بتسبيرج (الولايات المتحدة الأمريكية) في عام ١٩١٩م. وكان من أوائل إنجازات هذا المعمل التوصل إلى بياني لقياس إحساس الإنسان بالحرارة أطلق عليه اسم معيار درجة الحرارة الفعّالة effective temperature index. لقد احتوى المعمل على غرفتين ملتصقتين تماما وبهما باب يصلهما ببعض. كان الهدف الأساسي من التجارب التي أُجريت في المرحلة الأولى، هو تحديد مستويات الراحة الحرارية المتماثله conditions of equal comfort، مع الأخذ في الاعتبار عنصرين فقط من عناصر المناخ هما درجة حرارة الهواء ونسبة الرطوبة. وضعَتْ الغرفة الأولى في درجة حرارة ونسبة رطوبة ثابتة لا تتغير، بينما جُعلت الغَرفة الثانية في درجة حرارة ونسبة رطوبة بحيث يكون الناتج الكلي للمناَخ أبرد من الغرفة الأولى بقليل. وبعد ذلك تقوم أجهزة التحكم في الغرفة الثانية برفع درجة الحرارة المبتلة wet - bulb temperature ودرجة الحرارة الجافة dry - bulb temperature تدريجيا بينما يقوم الأشخاص المتطوعون بالتجول مابين الغرفة الأولى والثانية، وفي كل مرة يسجلون انطباعاتهم عن إحساسهم بالمناخ الحراري ويحددون الغرفة الأكثر دفئا من الأخرى. وتستمر التجربة على هذا المنوال إلى أن تجيء اللحظة التي تكون فيها الغرفة الثانية متشابهة تماما مع الغرفة الأولى من حيث الدفء وإلى أن

تتخطاها بقليل. وبعد إجراء ٤٤٠ مجموعة من التجارب التي تفاوتت فيها درجة الحرارة من الصفر إلى ٦٩° م تمّ وضع المخطط البياني الخاص بدرجة الحرارة الفعّالة (شكل رقم ٣, ٢). عندما تكون سرعة الهواء منخفضة ولا تتعدى ١٥, ٠ متر/ ثانية يمكن تقدير درجة الحرارة الفعّالة بواسطة المعادلة التالية (McIntyre, 1980):

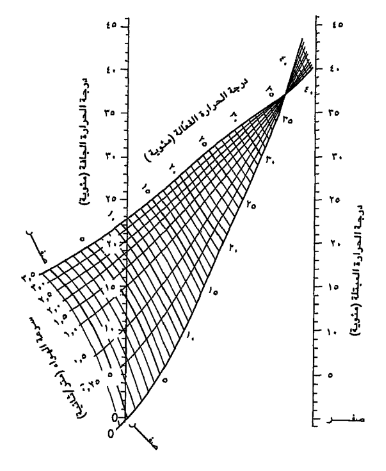
$$ET = (0.944\,T_a + 0.056\,T_{\omega b}) / [1 + 0.022\,(T_a - T_{\omega b})] \quad (٢,٨)$$

حيث

ET = درجة الحرارة الفعّالة (درجة مئوية).

T_a = درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية).

$T_{\omega b}$ = درجة الحرارة المبتلة (درجة مئوية).



شكل رقم (٣, ٢). بياني درجة الحرارة الفعالة.

المصدر: Koenigsberger (1973). p. 55

(٢ , ٤ , ٢) معيار درجة الحرارة الفعالة المصححة

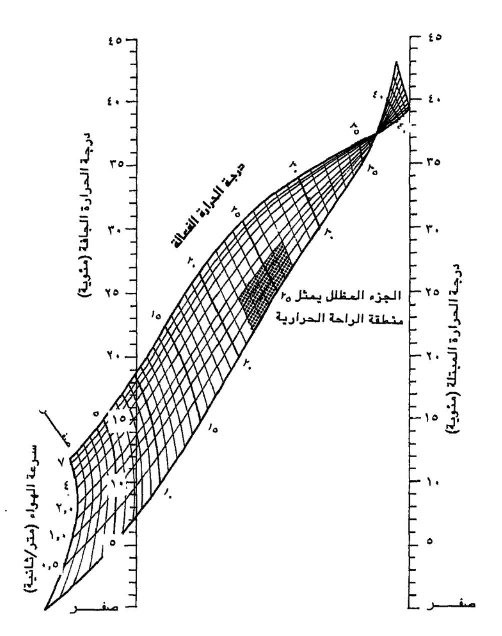
تمّ في عام ١٩٢٤ ـ ١٩٢٥م إضافة سرعة الهواء ومعامل العزل الحراري للملابس clo-value كعناصر أساسية مع درجة الحرارة الجافة ودرجة الحرارة المبتلة على التجارب الخاصة بمعيار درجة الحرارة الفعّالة. وفي عام ١٩٣٢م تمّ إحلال ميزان الحرارة الكروي globe thermometer محل ميزان الحرارة الجافة. وميزان الحرارة الكروي هو جهاز يستعمل لقياس درجة الحرارة الإشعاعية، ويتكون من ميزان الحرارة العادي الذي يعتمد على خصائص الزئبق يتم وضعه داخل كرة نحاسية بقطر ١٥٠ سم، مدهونة باللون الأسود. هذا الجهاز يقيس درجة الحرارة الإشعاعية خلال الخمسة عشر دقيقة الأولى، وبعد هذه الفترة فإن درجة الحرارة التي يسجلها الجهاز ترمز إلى المفعول المشترك لدرجة حرارة الهواء ودرجة حرارة الأسطح المواجهة للجهاز (Koenigsberger, 1973). ونتيجة لهذه الإضافات تم وضع المخطط البياني الثاني الذي أُطلق عليه اسم معيار درجة الحرارة الفعّالة المصححة corrected effective temperature index (الشكل رقم ٤ , ٢).

وقد انتشر استعمال معياري درجة الحرارة الفعّالة ودرجة الحرارة الفعّالة المصححة انتشارا واسعا على الرغم من المآخذ عليهما إذ يقول بعض الباحثين أنهما يبالغان في أهمية الرطوبة وأثرها على الإحساس الحراري عندما تكون درجة الحرارة منخفضة، ويقللان من أهميتها عندما تكون درجة الحرارة مرتفعة (Givoni, 1981).

(٢ , ٤ , ٣) محصلة درجة الحرارة

إن معيار محصلة درجة الحرارة والذي ظهر في عام ١٩٣١م، وتم تطويره في عام ١٩٤٨م، يأخذ في الاعتبار ثلاثة من العناصر المهمة، وهي درجة الحرارة الجافة، ودرجة الحرارة المبتلة بالإضافة إلى مفعول التبادل الحراري بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة، وتم وضع المخطط البياني الخاص بمحصلة درجة الحرارة كما هو واضح في الشكل (رقم ٥ , ٢). وتنقسم درجة الحرارة الناتجة إلى قسمين، القسم الأول خاص بتقدير محصلة درجة الحرارة للبصيلة الجافة بواسطة المعادلة التالية:

$$T_{res} = 0.47\ T_a + 0.53\ T_r \qquad (٢ , ٩)$$



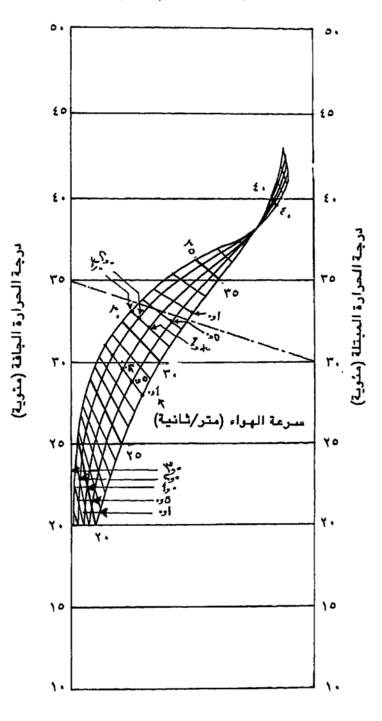
شكل (٤ , ٢). بياني درجة الحرارة الفعالة المصححة.

حيث

T_{res} = محصلة درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية).

T_a = درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية).

T_r = متوسط درجة الحرارة الإشعاعية (درجة مئوية).



شكل (٥ , ٢). بياني محصلة درجة الحرارة.

المصدر: McIntyre (1980). p. 168

أما القسم الثاني فهو خاص بتقدير محصلة درجة الحرارة للبصيلة المبتلة بواسطة المعادلة التالية:

$$T_{res}\,(wet) = 0.47\,T_a + 0.53\,T_r - 0.28\,(P_{sg} - H_{rel} \times P_{sa}) \quad (٢,١٠)$$

حيث

$T_{res}(wet)$ = محصلة درجة الحرارة المبتلة (درجة مئوية).

P_{sg} = ضغط بخار الماء في مرحلة التشبع عند درجة حرارة البصيلة الكروية T_g (مليبار).

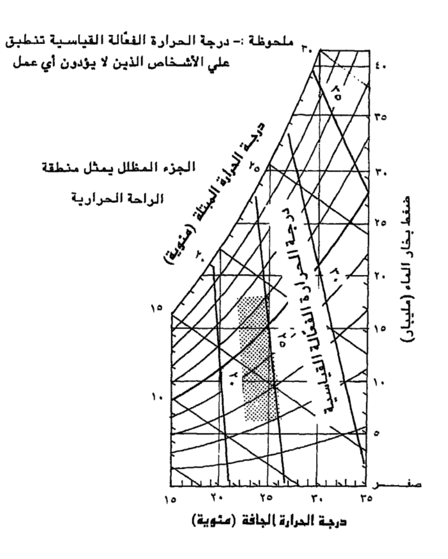
H_{rel} = الرطوبة النسبية (نسبة مئوية).

P_{sa} = الضغط الجوي للهواء المحيط في مرحلة التشبع (مليبار).

(٢,٤,٤) معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية

من العناصر الرئيسية التي ارتكز عليها معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية مستوى تغطية العرق لجسم الإنسان ومتوسط درجة حرارة الجلد، (Gagge *et al.*, 1941 and Nishi & Gagge, 1974) وقد تم اعتماد هذا المعيار الجديد بواسطة جمعية مهندسي التدفئة والتبريد والتكييف الأمريكية وتم وضع البياني الخاص بها كما هو واضح في الشكل (رقم ٢,٦). اعتمدت التجارب على الأشخاص الجالسين في وضع مريح ويرتدون ملابس خفيفة. على سبيل المثال إذا كانت الرطوبة النسبية = ٥٠٪، ودرجة الحرارة الجافة = ٢٤ْم، في هذه الحالة يكون معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية أيضا ٢٤ْم. وفي حالة تغيير نوع الملابس فإنّ معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية سوف يتغير أيضا، على الرغم من أن درجة الحرارة الجافة لاتزال ثابتة ولم تتغير وذلك لأن إحساس الشخص بالحرارة قد تغير نتيجة للاختلاف في معامل العزل الحراري للملابس. مثلا إذا خلع الشخص ملابسه الخفيفة يكون معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية الآن ٢٠ْم في حين أن درجة الحرارة الجافة مازالت ٢٤ْم. يُعتبر معيار درجة الحرارة الفعّالة القياسية نظاما شاملاً ودقيقا لتقويم الإحساس الحراري لأنه يأخذ في الاعتبار العوامل

الرئيسية التي تؤثر على إحساس الإنسان بالحرارة مثل معامل العزل الحراري للملابس التي يرتديها، النشاط الذي يمارسه، إضافة للعناصر المناخية الأخرى كدرجة حرارة الهواء، وسرعة الهواء، والرطوبة النسبية ومفعول التبادل الحراري بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة.



شكل رقم (٦ , ٢). بياني درجة الحرارة الفعالة القياسية.

المصدر: .McIntyre (1980). p. 168

(٢ , ٤ , ٥) معيار درجة الحرارة المتكافئة

قام دفتون Dufton بالتعاون مع وحدة أبحاث المباني بإنجلترا بتطوير جهاز للتحكم في المناخ الداخلي. تتلخص مهمة هذا الجهاز في التحكم في المناخ المحيط بما يستوفي متطلبات الراحة الحرارية على الرغم من المتغيرات التي قد تحدث في درجة حرارة الهواء، وسرعة الهواء، ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية (Dufton, 1936). إنّ جهاز التحكم الحراري قد تم تطويره استنادا على معيار الراحة الحرارية المقترح بواسطة وحدة أبحاث المباني والذي يفترض أن معدل الإنتاج الحراري للإنسان نتيجة للتفاعل الحيوي metabolic heat production يساوي ٧٥ واط لكل متر مربع عندما يكون معامل العزل الحراري للملابس clo - value = ١ , ١ ودرجة حرارة الهواء ١٨°م وسرعة الهواء منخفضة دون ٥ , ٠ متر/ ثانية. وقد طور دفتون هذه النظرية ووضعها في شكل معيار لتحديد مدى إحساس الإنسان بالمناخ المحيط. وانطلاقا من هذه التجارب قام بدفورد Bedford بالعديد من الدراسات الميدانية حول طبيعة المناخ الحراري داخل المصانع وتوصل إلى مايعرف الآن بدرجة الحرارة المتكافئة وقد عبر عنها بواسطة المعادلة التالية (Bedford, 1936):

$$T_{eq} = 0.522\, T_a + 0.478\, T_r - 0.2 \sqrt{v}\, (37.8 - T_a) \qquad (٢ , ١١)$$

حيث

T_{eq} = درجة الحرارة المتكافئة (درجة مئوية).

T_a = درجة الحرارة الجافة (درجة مئوية).

T_r = متوسط درجة الحرارة الإشعاعية (درجة مئوية).

v = سرعة الهواء (متر/ ثانية).

وتُعتبر معادلة درجة الحرارة المتكافئة محاولة تجريبية نظرية ويمكن تطبيقها فقط على الحالات المشابهة للظروف والمتغيرات المناخية التي تمت فيها التجارب المعملية.

(٢,٥) الراحة الحرارية

(٢,٥,١) نطاق الراحة الحرارية The comfort zone

يتفاعل الإنسان مع المناخ الحراري، ويقوم جهاز تنظيم الحرارة المكوَّن من حركة الدم وإفراز العرق والرعشة... الخ بالمحافظة على الاتزان الحراري، وبالتالي الاحتفاظ بدرجة حرارة الأنسجة الداخلية في المستوى المطلوب وهو ٣٧,٢ °م. إنّ الاتزان الحراري ضروري لحياة الإنسان، ولكنه وحده ليس كافيا لتحقيق الراحة الحرارية. إن جسم الإنسان يستطيع أن يكون في حالة اتزان حراري مع المناخ المحيط به ولكن بشيء من الإجهاد لبعض عناصر جهاز تنظيم الحرارة، مثل الارتفاع الملموس في نبضات القلب التي تؤدي إلى زيادة في سرعة جريان الدم، أو إلى إفراز كميات كبيرة من العرق في حالة المناخ الحار، أو إلى القشعريرة في حالة المناخ البارد. وبالتالي يمكن تعريف نطاق الراحة الحرارية بأنها الفترة التي يشعر فيها الإنسان وبكل أحاسيسه بالرضا التام بالبيئة المحيطة به (ASHRAE, 1966). إن نطاق الراحة الحرارية comfort zone هو عبارة عن مجموعة مؤتلفة من درجات حرارة الهواء، ودرجات الحرارة الإشعاعية، ودرجات الرطوبة النسبية، وسرعة الهواء التي يشعر أثناءها غالبية الناس بالراحة التامة والرضاء الكامل، وانعدام الشعور بالسخونة أو البرودة. إنه ذلك الشعور والإحساس الذي يتعذر فيه تحديد ما إذا كان المناخ باردا بعض الشيء أو دافئا إلى حد ما. هذا النطاق أيضا يُعرف بالنطاق الحراري المحايد لنوعية محددة من الأشخاص على حسب تأقلمهم، ونوعية الملابس التي يرتدونها، والنشاط الذي يمارسونه. إن منطقة الراحة الحرارية هي فترة بسيطة جدا ضمن فترة الاتزان الحراري وفي حدود ضيقة من تفاعل مكونات وتركيبات العناصر المناخية التي تؤثر على التبادل الحراري بين المناخ والإنسان. إن تحديد منطقة الراحة الحرارية بالنسبة لشخص ما داخل فراغ يعتمد أساسا على عدة عناصر، منها ما يتعلق بالنشاط الذي يؤديه الإنسان، و معامل العزل الحراري للملابس التي يرتديها،

والبعض الآخر يتعلق بمكونات المناخ الحراري؛ كدرجة حرارة الهواء، وسرعة الهواء، ونسبة الرطوبة، ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية للمسطحات المحيطة بالفراغ. لقد قام عدد كبير من الباحثين والاختصاصيين في هذا المجال بالعديد من الدراسات القيّمة والتجارب الميدانية والمعملية التي كان الهدف منها تحديد منطقة الراحة الحرارية. ففي عام ١٩٩٠م قام درايزديل Drysdale بإجراء بعض الدراسات في أستراليا، وخلص إلى أن درجة الحرارة المثالية للراحة الحرارية للإنسان هي ٢٣,٧ °م وأن الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية هو ٢٨,٩ °م (Drysdale, 1950). أما إليس Eliss فقد أجرى بحثه في المناطق الاستوائية عام ١٩٥٥م، ووجد أن أكثر من ٨٠٪ من الأشخاص الذين استعان بهم في تحديد منطقة الراحة الحرارية ذكروا في الاستبيان أنهم مرتاحون تماما أو مرتاحون مع إحساس بسيط بالدفء أو مرتاحون مع إحساس بسيط بالبرودة عندما كانت درجة حرارة الهواء = ٢٦ °م (Eliss, 1952). وفي عام ١٩٥٥م قام أمبلر Ambler بمحاولة لتحديد منطقة الراحة الحرارية في نيجيريا مستعملاً معيار درجة الحرارة الفعّالة (Ambler, 1955). وكان من أهم الاستنتاجات التي توصل إليها أمبلر بالنسبة للأشخاص الأوروبيين، والذين لايمارسون أي عمل شاق، يكون الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية ٢٦,٥ °م (فعّالة)، في حين أن الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية هو ٢٣ °م (فعّالة). وفي عام ١٩٥٩م قام ويس Weiss بعمل دراسة في سدني بأستراليا، وتوصل إلى أن درجة الحرارة المثلى للراحة الحرارية هي ٢٢ °م، وأن الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية هو ٢٤ °م (Weiss, 1959). أما وب Webb ، الذي أجرى تجاربه في سنغافورة عام ١٩٦٠م مستعملا معيار درجة الحرارة الفعّالة فقد استنتج أن درجة الحرارة المثالية للراحة الحرارية هي ٢٥,٥ °م (فعّالة) (Webb, 1960). وفي عام ١٩٦٣م أجرى ماكفيرسون MaCpherson بعض الدراسات في أستراليا ووجد أن ٨٠٪ من الأشخاص الذين استعان بهم في الاستبيان قد بينوا أنهم مرتاحون تماما عندما كانت درجة حرارة

الهواء ٢٢,٥ ْم (MaCpherson, 1963). أما عندما استعمل نسبة الـ ٥٠ ٪ من الأشخاص الذين تم تسجيل انطباعاتهم بواسطة الاستبيان كمقياس أساسي لتحديد منطقة الراحة الحرارية، فقد استنتج أنّ الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية هو ١٩ ْم والحد الأعلى هو ٢٧ ْم. وفي عام ١٩٧٤م قام كونقسبيرقر Koenigsberger بدراسة تحليلية لتحديد منطقة الراحة الحرارية مستعملا درجة الحرارة الفعّالة المصححة، واستنتج أن الحد الأعلى لمنطقة الراحة الحرارية هو ٢٧ ْم والحد الأدنى لها هو ٢٢ ْم . أما درجة الحرارة المثالية للراحة الحرارية فهي ٢٥ ْم. الجدول رقم (١ , ٢) يعطي ملخصا عاما لمتطلبات الراحة الحرارية لبعض الأقطار.

جدول رقم (١ , ٢). منطقة الراحة الحرارية لبعض الأقطار

القطر	درجة الحرارة المنفصلة	الوحـدة	المرجع
بريطانيا	١٧ ـ ٢٠ ْم	درجة الحرارة الفعّالة	(VanStraaten, 1967)
كندا	١٩ ْم	درجة الحرارة الفعّالة	"
الشرق الأقصى	٢٢ ـ ٢٣ ْم	درجة الحرارة الفعّالة	"
إيران	٢٥ ْم	درجة الحرارة الفعّالة	"
جنوب أفريقيا	١٩ ـ ٢٢ ْم	درجة الحرارة الفعّالة	"
الولايات المتحدة	٢٠ ـ ٢٣ ْم	درجة الحرارة الفعّالة	"
المناطق الإستوائية	٢٢ ـ ٢٧ ْم	درجة الحرارة الفعّالة المصححة	(Koenigsberger *et al.*, 1973)
سنغافورة	٢٥ ـ ٢٧ ْم	درجة الحرارة الفعّالة	"
استراليا	١٩ ـ ٢٧ ْم	درجة الحرارة الجافـة	"
نيجيريا	٢٣ ـ ٢٦,٥ ْم	درجة الحرارة الفعّالة	"

المصدر : Van Straaten (1967). pp. 31 and Koenigsberger (1973). pp. 41 - 57.

(٢ , ٥ , ٢) معادلة الراحة الحرارية

تُعتبرالدراسة التي قام بها فانقر Fanger حتى الآن من الدراسات الشاملة والدقيقة في مجال تحليل وتقويم المناخ المحيط، بالإضافة إلى تحديد منطقة الراحة الحرارية (Fanger, 1972). قام فانقر بالعديد من الدراسات النظرية والتجارب العملية والمعملية، وتوصل إلى نتائج مهمة في هذا المجال. تنقسم المتغيرات التي لها ارتباط وثيق بالراحة الحرارية، والتي شملتها دراسة فانقر إلى قسمين رئيسيين، القسم الأول ويشمل العناصر التي لها علاقة بالشخص وهي:

(أ) كفاءة العزل الحراري للملابس التي يرتديها.

(ب) نوع النشاط الذي يقوم به.

والقسم الثاني ويشمل العناصر المناخية وهي:

(جـ) درجة حرارة الهواء.

(د) سرعة الهواء.

(هـ) ضغط بخار الماء في الهواء المحيط بالإنسان.

(و) متوسط درجة الحرارة الإشعاعية للأسطح الداخلية التي تحدد الفراغ.

وتستند نظرية فانقر أساسا على أنه لا يمكن تحقيق الراحة الحرارية إلا بتفاعل هذه العناصر الستة مع بعضها البعض. ولايمكن الأخذ في الاعتبار أي عنصر من العناصر المذكورة أعلاه بمفرده، أو بمعزل عن العناصر الأخرى. وقد استنتج فانقر من تجاربه أن درجة حرارة جلد الإنسان ومعدل إفرازه للعرق لهما علاقة وثيقة جدا بمدى إحساسه بالحرارة. وبما أن هذين العنصرين لهما علاقة قوية بنوعية النشاط الذي يمارسه الشخص، فقد صارت هذه العلاقة أساسية من أجل تحقيق الراحة الحرارية. وكذلك أثبتت الدراسة أن معدل إنتاج الطاقة الحرارية بواسطة جسم الإنسان نتيجة للتفاعل الحيوي له دلالته الواضحة على مدى إحساسه بالراحة الحرارية. ومن هذا المنطلق فقد افترض فانقر أن الشخص إذا تعرض لمناخ معتدل ولفترة طويلة، يكون بمقدور جهاز تنظيم الحرارة الموجود داخل جسم الإنسان

إيجاد الاتزان الحراري المطلوب والذي يضمن ثبات درجة حرارة الأنسجة الداخلية. وهذا يعني أن كمية الحرارة التي ينتجها الجسم تعادل كمية الحرارة التي يفقدها إلى المناخ المحيط. ويمكن تعريف ذلك بمعادلة الاتزان الحراري كالآتي:

$$H - E_d - E_{sw} - E_{re} - L = K = R + C \quad kcal/hr \qquad (٢,١٢)$$

H = الحرارة التي ينتجها جسم الإنسان (كجم كالوري/ ساعة).

E_d = الحرارة المفقودة نتيجة لتبخر ذرات الماء بالقرب من الجسم (كجم كالوري/ ساعة).

E_{sw} = الحرارة المفقودة نتيجة لتبخر العرق من سطح الجسم (كجم كالوري/ ساعة).

E_{re} = الحرارة الكامنة والمفقودة نتيجة لتبخر ذرات الماء أثناء عملية التنفس (كجم كالوري/ ساعة).

L = الحرارة المفقودة نتيجة لعملية التنفس (كجم كالوري/ ساعة).

K = تدفق الحرارة من جسم الإنسان إلى السطح الخارجي للملابس بواسطة التوصيل (كجم كالوري/ ساعة).

R = الحرارة المفقودة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة من السطح الخارجي للملابس، ومن ثمّ إلى المناخ المحيط (كجم كالوري/ ساعة).

C = الحرارة المفقودة بواسطة تيارات الهواء من السطح الخارجي للملابس إلى الهواء المحيط (كجم كالوري/ ساعة).

وبعد دراسة مستفيضة لهذه العناصر توصل فانقر إلى المعادلة التالية:

$$\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta)-0.35[43-0.061\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta)-P_a] - 0.42\,[\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta\,) - 50$$

$$- 0.0023\frac{M}{A_{Du}}(44-P_a) - 0.0014\frac{M}{A_{Du}}(34-t_a) =$$

$$3.4x\,10^{-8} f_{cl}[(t_{cl}+273)^{3}-(t_{mrt}+273)^{4}]+f_{cl}h_{c}(t_{cl}-t_{a}) \qquad (٢,١٣)$$

حيث

M = إنتاج الطاقة الحرارية داخل الجسم نتيجة للتفاعل الحيوي (واط/ متر مربع).

A_{Du} = مساحة سطح الجلد = (DuBois area) (متر مربع).

η = الفعالية الميكانيكية للإنسان (معامل ثابت ١,٠ - ٢,٠).

P_a = ضغط بخار الماء للهواء المحيط بالإنسان (مليبار).

t_a = درجة حرارة الهواء المحيط بالإنسان (درجة مئوية).

f_{cl} = نسبة مساحة الجسم المغطى بالملابس إلى مساحة الجسم العاري (نسبة مئوية).

t_{cl} = متوسط درجة حرارة الملابس الخارجية للإنسان (درجة مئوية).

t_{mrt} = متوسط درجة الحرارة الإشعاعية (درجة مئوية).

h_c = معامل الحمل الحراري (معامل ثابت).

عند تعريف النشاط ونوع العمل الذي يقوم به الإنسان يمكن تحديد قيمة $(\frac{M}{A_{Du}})$ و (η) من الجدول رقم (٢,٢). أما درجة حرارة الملابس الخارجية (t_{cl}) فيمكن أن تُحسب بواسطة المعادلة التالية :

$$t_{cl}=35.7-0.032\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta)-0.18\,I_{cl}[\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta)-$$

$$0.35[43-0.061\times\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta)-P_a]-0.42[\frac{M}{A_{Du}}(1-\eta)-50]$$

$$0.0023\frac{M}{A_{Du}}(44-P_a)-0.0014\times\frac{M}{A_{Du}}(34-t_a)] \qquad (٢,١٤)$$

ولقد استنبط قاق Gagge ورفاقه المصطلح (I_{cl}) والذي يرمز إلى معامل العزل الحراري الكلي من جلد الإنسان إلى السطح الخارجي للملابس وهو يعتمد على معامل العزل الحراري للملابس (Gagge *et al.*, 1941). والجدول رقم (٣ , ٢) يعطي معامل العزل الحراري للملابس (I_{cl}) ونسبة الجسم المُغَطى (f_{cl}) . أما معامل الحَمْل الحراري (h_c) فهو يعتمد على نوعية تيار الحَمْل الحراري. وهناك نوعان من أنواع انتقال الحرارة بواسطة الحَمْل، النوع الأول ينشأ نتيجة للتغييرات التي تطرأ على درجة حر ارة الهواء، أما النوع الثاني فإنه يحدث نتيجة للضغط الميكانيكي بواسطة المراوح و مراوح سحب الهواء. . . الخ.

ويمكن حساب معامل الحَمْل الحراري الحر free confection، الناتج من الاختلاف في درجة حرارة الهواء بواسطة المعادلة التالية:

$$h_c = 2.05\,(t_{cl} - t_a)^{0.25} \qquad (٢ , ١٥)$$

حيث

h_c = معامل الحَمْل الحراري.

t_{cl} = معامل العزل الحراري الكلي من جلد الإنسان إلى السطح الخارجي للملابس (معامل ثابت).

t_a = درجة حرارة الهواء (درجة مئوية) .

أما حساب معامل الحَمْل الحراري الناتج من الحَمْل القسري forced convection فيتم بواسطة المعادلة التالية:

$$h_c = 10.4\sqrt{v} \qquad (٢ , ١٦)$$

حيث

v = سرعة الهواء (متر / الثانية) .

ويجب استعمال المعادلة الأولى عندما تكون سرعة الهواء أقل من ١ , ٠ متر/ ثانية وتستعمل المعادلة الثانية عندما تكون سرعة الهواء أكثر من ١ , ٠ متر/ ثانية وبذلك يمكن القول إن معادلة فانقر للراحة الحرارية تحتوي على العناصر التالية:

(أ) عناصر خاصة بنوع الملابس وخصائصها، وهي معامل العزل الحراري للملابس (I_{cl}) ونسبة المساحة التي تغطيها الملابس بالنسبة لمساحة الجسم العاري (f_{cl}).

(ب) عناصر تعتمد على نوعية النشاط والعمل الذي يقوم به الشخص وهما معدل إنتاج الطاقة الحرارية لكل وحدة مساحة من الجسم ($\frac{M}{A_{Du}}$)، ومعامل الفعالية الميكانيكية (η).

(جـ) عناصر مناخية وهي سرعة الهواء (v) ، ودرجة حرارة الهواء (t_a)، وضغط بخار الماء في الهواء المحيط (P_a)، ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية (t_{mrt}).

وبواسطة استعمال معادلة الراحة الحرارية يمكن تحديد العديد من المجموعات المؤتلفه من درجة حرارة الهواء، وضغط بخار الماء، وسرعة الهواء، ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية التي تكوّن المناخ الحراري الملائم لأي نوع من أنواع الملابس التي يرتديها الشخص ولمختلف أنواع الأنشطة التي يقوم بها. ولقد قام فانقر بمقارنة النتائج التي تمّ التوصل إليها باستعمال معادلة الراحة الحرارية مع بعض الاستنتاجات من الدراسات التي أُجريت لتحديد منطقة الراحة الحرارية في المناطق الباردة والحارة ، وقد توصل إلى أن هناك توافقا كبيرا وتقاربا واضحا بينهما مما يؤكد فعالية المعادلة وصحتها. وهذا يوضح لنا أن التأقلم على المناخ البارد أو الحار يعني أن الشخص يمكنه التكيف بسرعة أكبر من الشخص غير المتأقلم على المناخ المعين، ولكن معظم الأشخاص يتفقون إلى حد كبير في تحديد متطلبات الراحة الحرارية.

جدول رقم (٢ , ٢). معدل إنتاج الحرارة نتيجة للتفاعل الحيوي *

م	النشاط ونوع العمل	معدل إنتاج الحرارة نتيجة للتفاعل الحيوي $\frac{M}{A_{Du}}$ واط/ مترمربع	الفعالية الميكانيكية η نسبة مئوية (٠,١ - ٠,٢)	السرعة النسبية للهواء عندما يكون ساكنا متر/ ثانية
	(أ) شخص مرتاح			
١	نائم	٣٥	صفر	صفر
٢	جالس بارتياح	٥٠	صفر	صفر
٣	واقف بارتياح	٦٠	صفر	صفر
	(ب) عندما يمشي الشخص على أرض مستوية			
٤	٣,٢ كم / الساعة	١٠٠	صفر	٠,٩
٥	٤,٠ كم / الساعة	١٢٠	صفر	١,١
٦	٤,٨ كم / الساعة	١٣٠	صفر	١,٣
٧	٥,٦ كم/ الساعة	١٦٠	صفر	١,٦
٨	٦,٤ كم / الساعة	١٩٠	صفر	١,٨
٩	٨,٠ كم / الساعة	٢٩٠	صفر	٢,٢
	(جـ) عندما يمشي الشخص على أرض مرتفعة بنسبة ٪			
١٠	٥٪ وبسرعة ١,٦ كم/ ساعة	١٢٠	١,٠٧	٠,٦
١١	٥٪ وبسرعة ٣,٢ كم/ ساعة	١٥٠	٠,١٠	٠,٩
١٢	٥٪ وبسرعة ٤,٨ كم/ ساعة	٢٠٠	٠,١١	١,٣
١٣	١٥٪وبسرعة ١,٦ كم/ ساعة	١٤٥	٠,١٥	٠,٤
١٤	١٥٪وبسرعة ٣,٢ كم/ ساعة	٢٣٠	٠,١٩	٠,٩

η = تتفاوت من ١,٠ للعمل الخفيف إلى ٢,٠ لتسلق منحدر ١٥٪ بسرعة ٤ كم/ ساعة.

تابع جدول رقم (٢,٢).

م	النشاط ونوع العمل	معدل إنتاج الحرارة نتيجة للتفاعل الحيوي $\frac{M}{A_{Du}}$ واط/ مترمربع	الفعالية الميكانيكية η نسبة مئوية (٠,١ـ٠,٢)	السرعة النسبية للهواء عندما يكون ساكنا متر/ ثانية
١٥	١٥٪وبسرعة ٤,٨ كم/ ساعة	٣٥٠	٠,١٩	١,٣
١٦	٢٥٪وبسرعة ١,٦ كم/ ساعة	١٨٠	٠,٢٠	٠,٤
١٧	٢٥٪وبسرعة ٣,٢ كم/ ساعة	٣٣٥	٠,٢١	٠,٩
	(د) أعمال النجارة			
١٨	نجارة بواسطة الماكينة	٩٠	صفر	٠,٠ ـ ٠,١
١٩	نجارة يدوية	٢٠٠ ـ ٢٤٠	٠,١ ـ ٠,٢	٠,١ ـ ٠,٢
	(هـ) أعمال المعامل			
٢٠	تصنيف الشرائح	٧٠	صفر	صفر
٢١	أعمال معملية عامة	٨٠	صفر	٠,٠ ـ ٠,٢
	(و) أعمال ميكانيكية			
٢٢	أعمال كهربائية خفيفة	١٠٠ ـ ١٢٠	٠,٠ ـ ١,٠	٠,٠ ـ ٠,٢
٢٣	صيانة المكائن	١٤٠	٠,٠ ـ ١,٠	٠,٠ ـ ٠,٩
٢٤	أعمال الدهان	٢٠٠	٠,٠ ـ ١,٠	٠,٠ ـ ٠,٢
٢٥	أعمال الإسكافي	١٠٠	٠,٠ ـ ٠,١	٠,٠ ـ ٠,١
	(ز) قيادة السيارات			
٢٦	سيارة صغيرة (حركةخفيفة)	٥٠	صفر	صفر
٢٧	سيارة صغيرة (حركة مزدحمة)	١٠٠	صفر	صفر
٢٨	سيارة ثقيلة	١٦٠	٠,٠ ـ ٠,١	٠,٠٥
	(ح) أعمال منزلية			
٢٩	نظافة عامة للمنزل	١٠٠ ـ ١٧٠	٠,٠ ـ ٠,١	٠,١ ـ ٠,٣

تابع جدول رقم (٢ ، ٢).

م	النشاط ونوع العمل	معدل إنتاج الحرارة نتيجة للتفاعل الحيوي $\frac{M}{A_{Du}}$ واط/ مترمربع	الفعالية الميكانيكية η نسبة مئوية (٠,١ ـ ٠,٢)	السرعة النسبية للهواء عندما يكون ساكنا متر/ ثانية
٣٠	طبخ وإعداد الطعام	٨٠ ـ ١٠٠	صفر	صفر
٣١	غسيل الأواني	٨٠	صفر	٠,٠ ـ ٠,٢
٣٢	غسيل وكي الملابس	١٠٠ ـ ١٨٠	٠,٠ ـ ٠,١	٠,٠ ـ ٠,٢
٣٣	حلاقة ولبس الملابس	٨٥	صفر	٠,٠ ـ ٠,٢
	(ط) أعمال مكتبية			
٣٤	أعمال طباعة بالكهرباء	٤٥ ـ ٥٠	صفر	٠,٠٥
٣٥	أعمال طباعة ميكانيكية	٥٥ ـ ٦٠	صفر	٠,٠٥
٣٦	أعمال مختلفة - تنظيم الملفات ... الخ	٥٠ ـ ٦٠	صفر	٠,٠ ـ ٠,١
٣٧	رسم	٦٠	صفر	٠,٠ ـ ٠,١
	(ي) ألعاب ترفيهية			
٣٨	جمباز	١٥٠ ـ ٢٠٠	٠,٠ ـ ٠,١	٠,٥ ـ ٢
٣٩	رقص	١٢٠ ـ ٢٢٠	صفر	٠,٢ ـ ٢
٤٠	تنس	٢٣٠	٠,٠ ـ ٠,١	٠,٥ ـ ٢
٤١	قفز للحواجز	٣٥٠	صفر	٠,٥ ـ ٢
٤٢	سكواش	٣٦٠	٠,٠ ـ ٠,١	٠,٥ ـ ٢
٤٣	كرة سلة	٣٨٠	٠,٠ ـ ٠,١	١ ـ ٣
٤٤	مصارعة	٤٣٥	٠,٠ ـ ٠,١	٠,١ ـ ٠,٣
	(ك) نشاطات أخرى			
٤٥	تدريس	٨٠	صفر	صفر
٤٦	صيانة ساعات	٥٥	صفر	صفر
٤٧	تسويق	٨٠	صفر	٠,٢ ـ ١

المصدر: Fanger (1972). pp. 24 - 26.

جدول قم (٣.٢). معامل العزل الحراري ونسبة التغطية لمجموعة من الملابس*.

م	نوعيـــة الملابـــــس	معامل العزل الحراري I_{cl}=(clo-value)	نسبـة التغطيـة f_{cl}
١	جسم عار تماما	صفر	١,٠
٢	رداء قصير	٠,١	١,٠
٣	ملابس صيفية، رداء نصف كم شرابات خفيفة وشبط (صندل)	٠,٣ ـ ٠,٤	١,٠٥
٤	بنطلون خفيف وقميص نصف كم	٠,٥	١,١
٥	ملابس رياضية - قميص قطن	٠,٦	١,١
٦	بدلة عادية	١,٠	١,١٥
٧	بدلة عادية ومعطف	١,٥	١,١٥
٨	قميص قطن، بنطلون قطن، حذاء رياضي، شرابات	٠,٩	١,١٥
٩	بدلة أوربية ثقيلة وملابس داخلية قطنية ، قميص كم طويـــــل، شرابات صوف وبنطلون صـــوف ومعطف.	١,٥	١,١٥ ـ ١,٢٠

* المصدر: Fanger (1972). p. 33.

الفصل الثالث

الخصائص الحرارية لمواد البناء

● المقدمة ● التوصيل الحراري● الإشعاع ● الحمل الحراري
السعة الحرارية ● العزل الحراري

المقدمـــة

يختلف الأداء الحراري لمواد البناء بـاختلاف خصائصها الحرارية - الفيزيائية thermophysical properties. إنَّ تحليل هذه الخصائص ودراستها، يساعد كثيرا في اختيار المناسب منها، والكيفية التـي تُستعمل بها لتؤدي دورها في الاستفادة من الإيجابيات وتفادي السلبيات الموجودة في عناصر المناخ الخارجي. إن من واجب المصمم المعماري أن يدرس ويُلم بكل الظواهر والعناصر المناخية وخصائص المـواد التي يتعامل معها. ومن أجل الوصول إلى التصميم الجيد، لابد من معرفة الأسس والقوانين التي تحكم التفاعل بين عناصر المناخ ومواد البناء، ومن أهم مظاهر هذا التفاعل ظاهرة انتقال الحرارة.

تنتقل الحرارة من المناطق ذات الدرجات الحرارية العالية إلى المناطـق ذات الدرجات الحرارية المنخفضة بثلاث طرق رئيسية هي:

١ ـ التوصيل الحراري thermal conduction.

٢ ـ الإشعاع الحـراري thermal radiation.

٣ ـ الحَمْل الحـــراري thermal convection.

ويمكن قياس معدل انتقال الحرارة بطريقتين هما:

(أ) معدل تدفق الحرارة Rate of heat flow

وهو معدل انتقال الحرارة المتدفقة في وحدة زمنية خلال مساحة معينة من الجسم أو الفراغ وبنظام محدد ووحدة قياسها الجول/ ثانية والتي تعادل واحد واط.

Joule / Sec. = 1 Watt

(ب) شدّة الفيض الحراري Heat flux intensity

كثّافة الفيض الحراري هو معدل التدفق الحراري خلال وحدة مساحة من الجسم أو الفراغ ووحدة قياسها هي الواط/ متر مربع $Watt/m^2$.

(١ ,٣) التوصيل الحراري Thermal Conduction

من الظواهر الطبيعية التي تؤثر على الأداء الحراري للمبنى ظاهرة التوصيل الحراري عبر الغلاف الخارجي. إن توصيل الحرارة هو مفهوم مرتبط بتدفق الحرارة وانتقالها من مكان إلى آخر خلال جزيئات المادة أو المواد المختلفة المتلامسة مع بعضها البعض. يتميز انتقال الحرارة بالتوصيل بأنه يتم دون الحاجة إلى انتقال أجزاء الوسط الذي تسري فيه. وهذه العملية أساسا عملية بطيئة يتم خلالها انتقال الحرارة في المادة عن طريق تنشيط جزيئاتها. مثال ذلك انتقال الحرارة في السقف الخرساني من السطح الأعلى حرارة إلى السطح الأقل حرارة. في هذه الحالة نجد أن جزيئات السقف الخرساني عند السطح الأعلى حرارة تزداد طاقة حركتها بازدياد درجة حرارتها وتمرر هذه الجزيئات جزءاً من طاقتها الحرارية إلى الجزيئات المجاورة لها فتزداد حركتها وتقوم بدورها بإعطاء جزء من طاقتها الحرارية إلى الجزيئات المجاورة لها، وهكذا تتكرر العملية. وبهذه الطريقة تنتقل الطاقة الحرارية من السطح الساخن إلى السطح البارد.

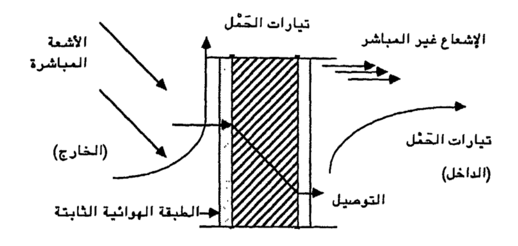
ويعتمد معدل انتقال الحرارة خلال المادة على عوامل كثيرة، نذكر منها:

١ - الفرق في درجات الحرارة.

٢ - مقدرة المادة علي توصيل الحرارة، والتي يمكن أن نطلق عليها الموصلية الحرارية thermal conductivity.

٣ - السعة الحرارية للمادة.

ويمكن تعريف الموصلية الحرارية بأنها كمية الحرارة التي تتدفق في وحدة المساحة خلال وحدة الزمن، أو بأنها معدل تدفق الحرارة في وحدة المساحة عند وجود تفاوت وحدة واحدة في درجة الحرارة بين سطحين مختلفين لمادة ما سمكها الوحدة. تختلف الموصلية الحرارية بحسب كثافة المادة ومساميتها والمحتوى الرطوبي ودرجة حرارتها المطلقة absolute temperature. إن محتوى المادة من الرطوبة له أثره الواضح على الموصلية الحرارية إذ يؤدي ارتفاع الرطوبة إلى ارتفاع معامل الموصلية الحرارية، أي أن العلاقة بينهما طردية. أما المقاومة الحرارية thermal resistivity يمكن تعريفها بأنها قياس مدى مقاومة المادة، أو مجموعة المواد المختلفة، لانتقال أو تدفق الحرارة خلالها بواسطة التوصيل. ويمكن اعتبارها الزمن اللازم لإمرار وحدة واحدة من كمية الحرارة عبر وحدة واحدة من المساحة لمادة صلبة سمكها الوحدة عند وجود تفاوت بين درجات حرارة الأسطح المتعامدة مع اتجاه تدفق الحرارة مقداره درجة واحدة، أو بكونها الفرق بين درجتي حرارة سطحين من مادة سمكها الوحدة، عند تدفق وحدة واحدة من كمية الحرارة عبر وحدة واحدة من المساحة وفي وحدة واحدة من الزمن (فتحي، ١٩٨٨). ومن هذا يتضح أن العلاقة بين سمك المادة ومقاومتها الحرارية علاقة تناسبية طردية. وفي مجال التصميم المعماري قد يستعمل المصمم العديد من المواد مع بعضها البعض لتشكل جزءاً من هيكل البناء، وفي هذه الحالة يمكن حساب إجمالي المقاومة الحرارية بجمع المقاومات الحرارية لكل هذه المواد. أما التوصيل الحراري thermal conductance فهو معدل تدفق الحرارة خلال مادة أو مجموعة من المواد المرتبطة بعضها ببعض في نظام إنشائي موحد. ويمكن تعريف التوصيل الحراري بأنه كمية الحرارة التي تتدفق بين سطحي المادة خلال وحدة المساحة في وحدة الزمن عند وجود فرق مقداره درجة حرارية واحدة بينهما. وهناك علاقة تناسبية طردية بين سمك المادة والموصلية الحرارية. ولاشك أن هناك ارتباطا واضحا بين درجة حرارة سطحي المادة الخارجي والداخلي وخصائصها الحرارية الفيزيائية. إن انتقال الحرارة عبر الهيكل الإنشائي يتم من كتلة الهواء الأكثر حرارة إلى كتلة الهواء الأقل حرارة في خمس مراحل (شكل رقم ١ ,٣) ويمكن تلخيصها كالآتي:



شكل رقم (١, ٣). كيفية تدفق الحرارة عبر الحائط.

(أ) انتقال الحرارة من الكتلة الهوائية الأكثر حرارة إلى الطبقة الهوائية الثابتة والملامسة للسطح الإنشائي الأقل حرارة بواسطة تيارات الحَمْل.

(ب) انتقال الحرارة من الطبقة الهوائية الثابتة والملامسة للسطح الأكثر حرارة إلى سطح الهيكل الإنشائي الأقل حرارة عن طريق التوصيل.

(جـ) انتقال الحرارة من السطح الإنشائي الأكثر حرارة إلى السطح الإنشائي الأقل حرارة عن طريق التوصيل.

(د) انتقال الحرارة من السطح الإنشائي الأكثر حرارة إلى الطبقة الهوائية الملامسة للسطح والأقل حرارة عن طريق التوصيل.

(هـ) انتقال الحرارة من الطبقة الهوائية الملامسة للسطح والأكثر حرارة إلى الكتلة الهوائية المتحركة والأقل حرارة بواسطة تيارات الحَمْل.

الموصلية الحرارية في النظام البريطاني يتم قياسها بواسطة الوحدة الحرارية البريطانية (Btu) لكل ساعة لكل قدم مربع - درجة فهرنهايت، وتُعطى الرمز k، أمّا في النظام المتري، فهي تقاس بواسطة الكيلو كالوري لكل ساعة-متر مربع-درجة مئوية ، وتُعطي الرمز (λ) . أمّا معامل مقاومة الحرارة هي عكس معامل الموصلية الحرارية ويرمز لها بـ $\frac{1}{k}$ في النظام البريطاني و$\frac{1}{\lambda}$ في النظام المتري. إن

انتقال الحرارة عبر أجزاء المبنى المختلفة كالحوائط والأسقف والأرضيات لا يعتمد فقط على معامل الموصلية الحرارية للمادة المستعملة، وإنما يعتمد أيضا على سمك الحائط أو السقف أو الأرضية (d). وكلما زاد سمك المنشأ كلما قلّ معدل توصيل الحرارة. ولذلك يمكن تعريف مقاومة الحرارة resistivity(R) لمادة سمكها (d) والموصلية الحرارية (λ) conductivity بواسطة المعادلة التالية:

$$R = \frac{d}{\lambda} \qquad (٣,١)$$

حيث

d = سمك المادة (متر).

λ = الموصلية الحرارية للمادة (واط/متر مربع - درجة مئوية).

R = المقاومة الحرارية للمادة (درجة مئوية - مترمربع/واط).

أما التوصيل الحراري (C) فيمكن تعريفه بواسطة المعادلة التالية:

$$C = \frac{\lambda}{d} \qquad (٣,٢)$$

حيث

C = التوصيل الحراري (واط/درجة مئوية - متر).

ويمكن حساب انتقال الحرارة عبر المنشأ بالتوصيل في حالة ثبات الحالة steady state condition بواسطة المعادلة التالية:

$$Q_c = A \times \frac{\lambda}{d}(t_2 - t_1) \qquad (٣,٣)$$

حيث

A = المساحة (متر مربع).

$(t_2 - t_1)$ = الفرق في درجة الحرارة بين السطحين (درجة مئوية).

إن الطبقة الهوائية الملامسة للسطح ضعيفة السماكة وهي ثابته وغير متحركة ولاتتأثر بتيارات الحَمْل. هذه الطبقة الهوائية تقاوم انتقال الحرارة بين سطح المنشأ والهواء المحيط به، وهي تُعرف بمقاومة السطح. أما النفاذية الحرارية فهي المصطلح المرتبط بمعدل انتقال الحرارة من الهواء الخارجي عبر الهيكل الإنشائي إلى الهواء الداخلي وبالعكس لكل وحدة من مساحة الهيكل الإنشائي. والفرق الأساسي بين النفاذية الحرارية والموصلية الحرارية هو أن النفاذية الحرارية تشتمل، بالإضافة إلى مقاومة الطبقات المختلفة للمنشأ، على المقاومات الخاصة بطبقات الهواء الثابتة والملامسة للسطحين الخارجي والداخلي. وللنفاذية الحرارية أهمية تطبيقية كبيرة، إذ أنها تمثل الوسيلة المثالية للمقارنة بين قدرات العزل الحراري لطرق الإنشاء المختلفة والمتعلقة بالجدران والأسقف، وهي أيضا القاعدة الأساسية للعمليات الحسابية المرتبطة باكتساب الحرارة وفقدانها من أجل تقويم الأداء الحراري للهيكل الإنشائي أو تحديد احتياجات المبنى من معدات وأجهزة التكييف الميكانيكي. إذا كان الحائط أو السقف معتم وغير شفاف ومكون من طبقات مختلفة من المواد المتلاصقه، فإن معامل النفاذية الحرارية يمكن أن يحسب بواسطة المعادلة التالية (Van Straaten, 1967).

$$U = \frac{1}{R}$$

$$R = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \; \ldots\ldots \; \frac{d_n}{\lambda_n}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_o} + \left(\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} \ldots\ldots \frac{d_n}{\lambda_n} \right)}$$

حيث

U = معامل انتقال الحرارة الكلي (واط/ متر مربع - درجة مئوية).

h_i = معامل انتقال الحرارة بين السطح الداخلي وطبقة الهواء الثابت.

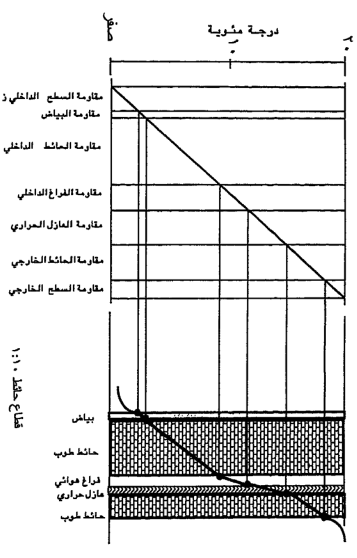
h_0 = معامل انتقال الحرارة بين السطح الخارجي وطبقة الهواء الثابت.

$\lambda_1 , \lambda_2 , \lambda_3 ... \lambda_n$ = الموصلية الحرارية لطبقات المواد المختلفة (واط/ متر مربع - درجة مئوية).

$d_1 , d_2 , d_3 ..... d_n$ = سمك الطبقات المختلفة (متر).

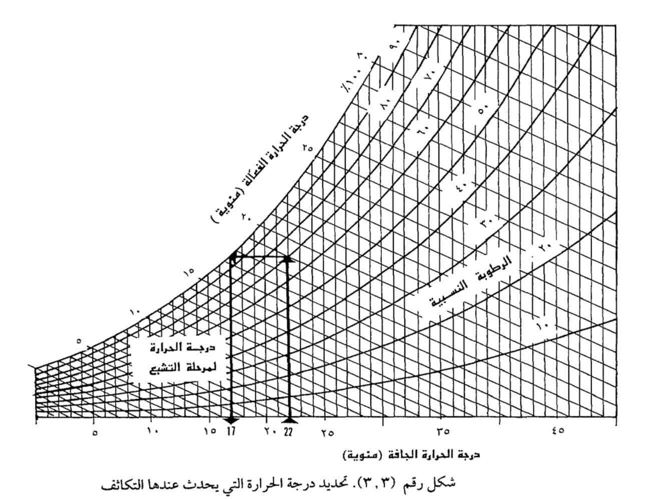
إنّ التدرج الحراري thermal gradient، هو المصطلح الذي يرمز إلى الاختلاف في درجات الحرارة خلال عناصر المبنى، كالحوائط والأسقف، والأرضيات. إنّ دراسة التدرج الحراري تُعتبر ضرورية من أجل معالجة ظاهرة التكاثف، والتي تؤثر سلبا على عناصر المبنى. وبواسطة الرسم يمكن تحديد التدرج الحراري لأي عنصر من عناصر المبنى، وكمثال لذلك إذا كانت درجة حرارة الهواء الخارجي صفر درجة مئوية، ودرجة حرارة الهواء الداخلي ٢٠ ْم، وإذا كان الحائط مكون من طوب عادي، وفراغ هوائي، وطبقة خرسانية، وعازل حراري، وبياض داخلي، يتم رسم قطاع للحائط بمقياس رسم بناءً علي مقدار المقاومات الحرارية لكل طبقة من الطبقات المختلفة للحائط (شكل رقم ٢,٣). إنّ مقياس الرسم المناسب في هذه الحالة هو ١مم = ٠,٠١ متر مربع - درجة مئوية/ واط، وبالتالي فإنّ مقاومة السطح الخارجي يمكن تمثيلها بـ ٣١ مم... الخ. وفي مواجهة هذا الرسم يتم رسم قطاع عادي للحائط بمقياس رسم ١ : ١٠. وعلى المحور الرأسي يتم عمل قياس لدرجات الحرارة بواقع ٣ مليمترات لكل درجة مئوية، وبعد ذلك يتم تحديد درجات حرارة الهواء الداخلي والخارجي، وتوصيلها بخط مستقيم. عند تقاطع هذا الخط المستقيم مع الطبقات المختلفة للحائط ، يتم رسم خطوط أفقية حتي تلتقي بالطبقات المماثلة لها في قطاع الحائط العادي، وبالتالي فإنّ الخط الذي يصل جميع النقاط علي الطبقات المختلفة يمثل التدرج الحراري للحائط. كما هو معروف فإنّ معدلات الرطوبة النسبية تختلف باختلاف درجات الحرارة. عندما تنخفض درجة حرارة الهواء (شكل رقم ٣,٣) يمكن تحديد درجة الحرارة التي يحدث عندها التكاثف لأي درجة حرارة ورطوبة نسبية . عندما تكون درجة حرارة الهواء = ٢٢ ْم والرطوبة النسبية = ٧٠٪ ، في هذه الحالة يتم تحديد نقطة تقاطع الخط الذي يمثل درجة الحرارة ٢٢ ْم مع الخط الذي يمثل درجة الرطوبة النسبية ٧٠ ٪ ومن نقطة التقاطع هذه يتم رسم خط أفقي ليقاطع خط الرطوبة النسبية = ١٠٠ ٪ . ومن نقطة تقاطع الخط الأفقي مع خط الرطوبة النسبية التي = ١٠٠ ٪ يتم إسقاط خط

عمودي ليقاطع المحور الأفقي للبياني ، والذي يمثل درجات الحرارة ، ومن ثمّ يتم تحديد درجة الحرارة التي يحدث عندها التكاثف = ١٧ ْم . هذا يعني أنه عندما تكون درجة حرارة الهواء = ٢٢ ْم والرطوبة النسبية = ٧٠ ٪ ، وإذا لامس هذا الهواء سطح له درجة حرارة = ١٧ ْم يحدث تكاثف بخار الماء علي هذا السطح . وظاهرة التكاثف هذه تتكرر يوميا عندما يلامس الهواء المشبع ببخار الماء سطح المرآة داخل الحمام .



شكل رقم (٢ ,٣). التدرج الحراري.

المصدر : Koenigsberger (1973). p. 81



شكل رقم (٣,٣). تحديد درجة الحرارة التي يحدث عندها التكاثف

المصدر: Koenigsberger (1973), p. 81

(٣,٢) الإشعاع Radiation

إن الإشعـاع الحـراري هـو عبـارة عـن موجـات كهـرومغناطيـسيـة electro - magnetic waves تولدها الحركة الحرارية للجزيئات المُكَوِّنة للمادة. ترتطم الطاقة المنبعثه من الجسم المشع بجسم آخر فيمتصها محولا هذه الطاقة الإشعاعية إلى طـاقة حرارية، وهكذا يتم انتقال الحرارة من مكان إلى آخر بواسطة الإشعاع. والإشعاع الحراري يرمز إلى الأشعة تحـت الحـمـراء infra - red rays من طيـف الإشعاع الكهرومغناطيـسـي elecro - magnetic spectrum، وتتكون موجاته مـن الآتي:

(أ) الموجات القصيرة تحت الحمراء من ٧٠٠ إلى ٢٣٠٠ نانوميتر.

(ب) الموجات الطويلة تحت الحمراء من ٢٣٠٠ إلى ١٠,٠٠٠ نانوميتر (١ نانوميتر = $١٠^{-٩}$ متر).

وهناك بعض الموجات الإشعاعية الأخرى التي قد يكون لها تأثير حراري. وتأثير الإشعاع يعتمد أيضا على نوعية المادة التي يسقط عليها. ويمكن تقسيم المواد إلى قسمين أساسيين:

١ ـ المواد غير المنفذة للإشعاع أو غير الشفافة opaque.

٢ ـ المواد المنفذة للإشعاع أو الشفافة transparent.

(١,٢,٣) المواد غير المنفذة للإشعاع

إن سطح المواد غير المنفذة للإشعاع له ثلاث خصائص رئيسية تحدد أداءها بالنسبة للتبادل الحراري بواسطة الإشعاع وهذه الخصائص هي:

(أ) مقدرتها على امتصاص الأشعة الساقطة عليها absorptivity.

(ب) مقدرتها على عكس الأشعة الساقطة عليها reflectivity.

(جـ) مقدرتها على التخلص من الحرارة المخزونة فيها (الانبعاث) emissivity.

عند سقوط أشعة الشمس المباشرة على سطح غير منفذ للإشعاع، قد يتم امتصاص هذه الأشعة بواسطة السطح أو انعكاسها. ويتم الامتصاص بالكامـل عندما يكون السطح أسود اللون تماما، وفي المقابل يتم عكس الأشعة بكاملـهـا عندما تسقط على سطح عاكس تماما reflector. لكن معظم الأسطح تمتص جزءا

من هذه الأشعة وتعكس الجزء الآخر. وإذا افترضنا أن معامل الامتصاص للأشعة absorptivity of solar radiation هو (α) ومعامل الانعكـاس reflectivity of solar radiation هو (r) فإن المعادلة التي توضح العلاقة بينهما تكون كالآتي:

$$r = 1 - \alpha \qquad (٣,٥)$$

أما معامل الانبعاث (ε)فهو مقدرة المادة على التخلص من الحرارة بواسطة الإشعاع غير المباشر إلى الأجسام المواجهة لها والفراغ المحيط بها. إن معامل انبعاث الحرارة من أي سطح يعتمد على درجة حرارته، ونوعية السطح نفسه بالإضافة إلي درجة حرارة الأجسـام المقابلة له. في درجة الحرارة العادية تنبعث الحرارة بواسطة الأشعة تحت الحمراء infra red rays ، ويمكن حساب قوة إشعاع انبعاث الحرارة بواسطـة المعادلة التالية (Givoni, 1981):

$$Q_r = 4.9 \times \varepsilon \left(\frac{T}{100} \right)^4 \qquad (٣,٦)$$

Q_r = معدل إنتقال الحرارة بواسطة الإشعاع (واط/ متر مربع).
ε = معامل انبعاث الحرارة.
T = درجة الحرارة المطلقة (درجة كلفن= ٢٧٣ + درجة الحرارة المئوية).

إن نسبة امتصاص الحرارة المشعة يعتمد على طول موجات الإشعاع الساقطة على السطح. إن الحائط المطلي باللون الأبيض يمتص حوالي ١٢, ٠ من الأشعة المباشرة بينما يبعث حوالي ٩٠, ٠ من الأشعة غير المباشرة long - wave radiation. وبالمقابل فإن هذا السطح يتمتع بكفاءة عالية ومقدرة جيدة في التخلـص مـن الحرارة إلى الأجسام والمناخ المحيط بواسطة الإشعاع غير المباشر. إنّ اللون الخارجي للسطح يحدد مقدرته على امتصاص الأشعة المباشرة. وكلما كان اللون فاتحا زادت مـقدرته على عكس الأشعة المباشرة، وانخفضت النسبة التي يمتصها مـن هـذه الأشعة (جدول رقم ١ ,٣). ولكن اللون الخارجي للسطح ليس له أي تأثير على أدائه وتفاعله مع الإشعاع غير المباشر. إن اللون الأسود يختلف اختلافا كبيرا عن اللون الأبيض عند تفاعله مع الأشعة المباشرة، إذ أن اللون الأسود يمتص نسبة كبيرة من الأشعة المباشرة بالمقارنة للنسبة التي يمتصها اللون الأبيض ولكـنـهـمـا

يتساويان في مقدرتهما على التخلص من الحرارة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة للمناخ المحيط والأجسام المواجهة. وهذا يعني أن الحوائط والأسقف بتباين ألوانها تتساوى في فقدانها للحرارة إلى الفضاء الخارجي أثناء الليل، خاصة عندما تكون السماء صافية وزرقاء كما هو الحال في معظم الأوقات بالنسبة للمناطق ذات المناخ الحار الجاف. من البيانات الموضحة في الجدول رقم (٣,١) يتضح لنا أن الدهانات البيضاء والسوداء في درجة الحرارة العادية تتساوى تقريبا في قدرتها علي التخلص من الحرارة، غير أن امتصاصية الدهان الأبيض من أشعة الشمس المباشرة تقل كثيرا عن امتصاصية الدهان الأسود. عندما يتم طلاء السطح الخارجي للسقف بطبقة من الدهان الأبيض، فإن كمية الحرارة التي يكتسبها تكون أقل بكثير مما لو كان الطلاء داكنا. وفي الوقت نفسه فإنّ معدل فقدان الحرارة بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة من السقف المطلي بدهان أبيض يتساوي مع معدل فقدان الحرارة من السقف المطلي بدهان أسود.

جدول رقم (٣,١). معامل الامتصاصية والانبعاثية لبعض مواد البناء والدهانات.

الرقم	المادة أو لون الدهان	معامل الامتصاصية	معامل الانبعاثية
١	صفيحة ألومنيوم لامعة	٠,٠٥	٠,٠٥
٢	صفيحة ألومنيوم مؤكسدة	٠,١٥	٠,١٢
٣	حديد مجلفن لامع	٠,٢٥	٠,٢٥
٤	دهان ألومنيوم	٠,٥٠	٠,٥٠
٥	دهان أبيض حديث	٠,١٢	٠,٩٠
٦	دهان أبيض زيتي	٠,٢٠	٠,٩٠
٧	رمادي فاتح	٠,٢٠	٠,٩٠
٨	رمادي غامق	٠,٧٠	٠,٩٠
٩	أخضر فاتح	٠,٤٠	٠,٩٠
١٠	أخضر غامق	٠,٧٠	٠,٩٠
١١	أسود عادي	٠,٨٥	٠,٩٠

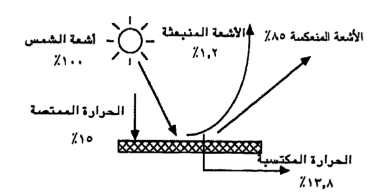
المصدر: Givoni (1981). p. 108.

إن خاصية الانبعاثية للمواد المختلفة في درجات الحرارة العادية لها أهمية كبيرة إذ أنها تُعتبر من العوامل الرئيسية التي يتم بموجبها اختيار المواد المناسبة للغلاف الخارجي للمبنى وأيضا للفراغات الهوائية التي توجد في الجدران والأسقف والأرضيات، لأنها تحدد معدل انتقال الحرارة عبر الفراغ الهوائي. والخاصية المهمة الأخرى هي معامل الامتصاص للأسطح الخارجية التي تسقط عليها أشعة الشمس المباشرة والتي بدورها تحدد معدل ارتفاع درجة حرارة السطح وبالتالي معدل تدفق الحرارة إلى الداخل. وعلى سبيل المثال فإن سطح الألومنيوم المصقول صقلا جيدا يعكس معظم أشعة الشمس الساقطة عليه. وبما أن معامل انبعاثية الحرارة لهذا السطح ضعيفة، فإنه سوف يكون أكثر سخونة من سطح مماثل مدهون (شكل رقم ٣,٤). وعلى الرغم من أن السطح المدهون يمتص نسبة أعلى من أشعة الشمس، لكنه بالمقابل له مقدرة أكبر على التخلص من الحرارة مقارنة بسطح الألومنيوم المصقول. كما ورد ذكره سابقا، إنّ طول موجات الطيف الإشعاعي يعتمد على درجة حرارة المصدر. إنّ الأجسام التي لها درجة حرارة عالية تبعث موجات طويلة من الأشعة تحت الحمراء، بينما تبعث الشمس الموجات القصيرة من الأشعة تحت الحمراء، والتي تحمل معها معظم الطاقة الحرارية والضوئية والأشعة فوق البنفسجية ultra -violet radiation. إن معدل انتقال الحرارة بواسطة الإشعاع يعتمد على الآتي:

(أ) الفرق في درجة حرارة الأجسام التي تتبادل الحرارة.

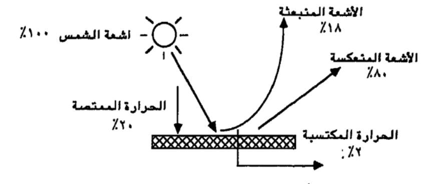
(ب) معامل الانبعاثية ومعامل الامتصاصية للأجسام التي تتبادل الحرارة.

في درجات الحرارة العادية يتفاوت معامل الانبعاثية على حسب تباين خصائص السطح الخارجي. إنّ معامل الانبعاثية لمواد البناء العادية يُقدر بحوالي ٠,٩، بينما يُقدر معامل الانبعاثية لصفيحة الألومنيوم المصقولة صقلا جيدا highly polished aluminum surface بحوالي ٠,٠٨. أما معامل الامتصاص لأشعة الشمس المباشرة فهي تعادل ٠,٩ لكل الأسطح السوداء، بينما تعادل ٠,٢ بالنسبة للأسطح البيضاء أو المعدنية اللامعة.



إنعكاسية الإشعاع = ٠,٨٥ وإمتصاصية الإشعاع = ٠,١٥ والإنبعاثية = ٠,٠٨
الإشعاع المنبعث = الإمتصاصية x الإنبعاثية = ٠,١٥ × ٠,٨٠ = ٠,٠١٢ 0.0
الحرارة المكتسبة = الحرارة الممتصة - الحرارة المنبعثة = ٠,١٥ - ٠,٠١٢ = ٠,١٣٨

1 الأشعة الساقطة علي صفيحة المنيوم مصقول



إنعكاسية الإشعاع = ٠,٨٠ وإمتصاصية الإشعاع = ٠,٢٠ والإنبعاثية = ٠,٩١
الإشعاع المنبعث = الإمتصاصية x الإنبعاثية = ٠,٢٠ × ٠,٩١ = ٠,١٨
الحرارة المكتسبة = الحرارة الممتصة - الحرارة المنبعثة = ٠,٢٠ - ٠,١٨ = ٠,٠٢

ب الأشعة الساقطة علي صفيحة المنيوم مدهونة باللون الابيض

شكل رقم (٣, ٤). الأشعة الساقطة على الأسطح غير الشفافة.

ويمكن حساب معامل الانبعاثية بواسطة المعادلتين التاليتين (Givoni, 1963):

h_r = ٥,٧ × معامل الانبعاثية (٣,٧)

[عندما تكون درجة الحرارة في حدود ٢٠ °م]

h_r = ٤,٦ × معامل الانبعاثية (٣,٨)

[عندما تكون درجة الحرارة في حدود الصفر درجة مئوية]

وبالتالي يمكن حساب معدل تدفق الحرارة بواسطة الإشعاع بالمعادلة التالية:

$$Q_{rd} = h_r \times A\,(t_2 - t_1) \qquad (٣,٩)$$

حيث

Q_{rd} = معدل تدفق الحرارة بواسطة الإشعاع (واط/ متر مربع).

h_r = معامل الإشعاع (واط/ درجة مئوية).

A = المساحة (متر مربع).

$(t_2 - t_1)$ = فرق في درجات الحرارة للأسطح المتواجهة (درجة مئوية).

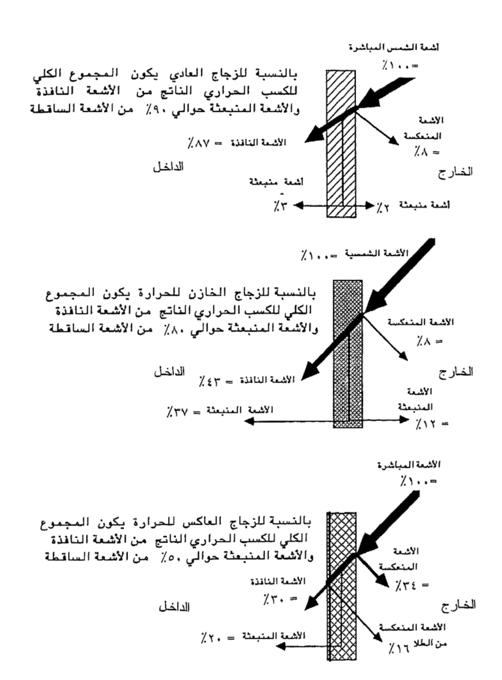
(٣,٢,٢) المواد المنفذة للإشعاع

إن ظهور المواد الشفافة كالزجاج والبلاستيك وانتشار استعمالها في المباني أضاف بُعدا جديدا للعمارة المعاصرة. وبصفة عامة فقد وفرت هذه المواد الحماية من بعض عناصر المناخ المحيط غير المرغوب فيها، كالرياح الحارة والباردة، والصقيع والثلوج، والأتربة، وفي الوقت نفسه ساعدت على الاستفادة من الإنارة الطبيعية مع إمكانية ربط الفراغ الداخلي بالطبيعة الخارجية بصريا. لاشك أن التقنية الحديثة في مجال الصناعة وفرت العديد من أنواع المواد الشفافة الزجاجية والبلاستيكية التي تختلف في مظهرها من الداخل والخارج وبالتالي صارت من العناصر المهمة في العمارة المعاصرة. وهنالك مثلا بعض المواد الشفافة والتي ينفذ من خلالها الإشعاع ذو الأطوال الموجية الواقعة ضمن الجزء المرئي من الطيف visible spectrum، بينما تمتص الأشعة تحت الحمراء infra - red rays، بالإضافة الي الإشعاع الحراري thermal rays . وتنقسم الأشعة الساقطة على الأسطح الزجاجية إلى ثلاثة أجزاء رئيسية (شكل رقم ٣,٥) وهي كالآتي:

(أ) الجزء الأول يتم عكسه إلى الخارج.

(ب) الجزء الثاني يتم امتصاصه بواسطة الزجاج.

(جـ) الجزء الثالث ينفذ مباشرة إلى الداخل عبر الزجاج.



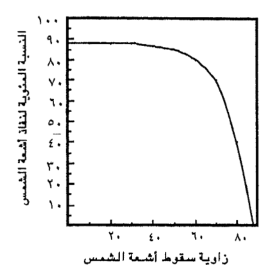
شكل رقم (٥ , ٣). نفاذ الأشعة خلال المسطحات الزجاجية.

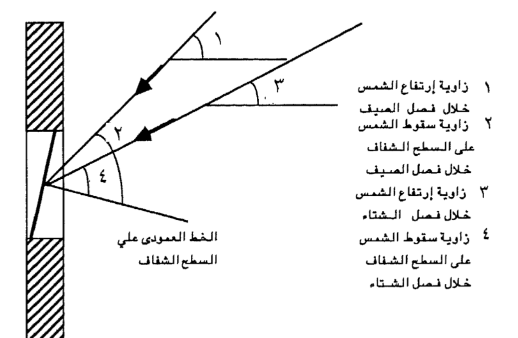
المصدر: Norbert (1991). p. 167

إن نسبة الجزء المنعكس من أشعة الشمس الساقطة على الزجاج العادي تعتمد أساسا على زاوية سقوط الأشعة علي السطح الزجاجي. وقد أثبتت الدراسات في هذا المجال أنه كلما زادت زاوية السقوط، زادت نسبة الانعكاس (طالب، ١٩٨٩). يوضح الشكل رقم (٦,٣) معدل تغير الانعكاسية مع زاوية السقوط، حيث يتبين أن الانعكاسية تزداد ببطء مع زيادة زاوية السقوط، عندما تكون زاوية السقوط بالنسبة للخط العمودي على السطح الشفاف أصغر من ٥٠°. بينما تزداد الانعكاسية باطراد عندما تكون زاوية السقوط أكبر من ٥٠°. إن زيادة نسبة الانعكاسية تعني نقصان النفاذية. مما سبق يتضح لنا أن إمالة زجاج النافذة يزيد من قيمة زاوية السقوط، ويمكن أن يقوم بحجب كلي لأشعة الشمس المباشرة للفترة الحارة أثناء فصل الصيف، ويكون الحجب جزئيا خلال فترات الجو المعتدل وأقل ما يمكن في فصل الشتاء. إن التطور التقني في صناعة الزجاج والمواد الشفافة الأخرى كالبلاستيك جعل من الممكن التحكم وبشكل فعّال في مرور أشعة الشمس خلال هذه المواد. ساعدت الأنواع المطورة من الزجاج على توفير الحماية الضرورية للفراغ الداخلي من الأشعة المباشرة وخفض الوهج ، وساعدت كثيرا في دعم التكامل بين الإنارة الطبيعية والإنارة الاصطناعية. إن الزجاج العازل للحرارة عادة ما يتكون من لوحين من الزجاج أو ثلاثة ألواح. وينقسم الزجاج العازل للحرارة والخاص بالتحكم في أشعة الشمس solar control glass إلى نوعين (صور رقم ١,٣ و٢,٣) هما:

(أ) الزجاج الخازن للحرارة absorptive glass .

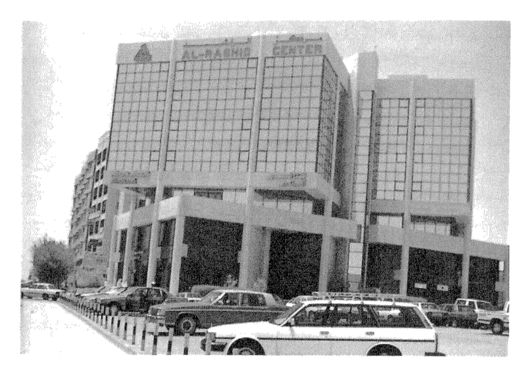
(ب) الزجاج العاكس للأشعة reflective glass.





شكل رقم (٦ ,٣). العلاقة بين نفاذ الأشعة وزوايا سقوط الشمس.

المصدر: Van Straaten (1967). p. 117



صورة رقم (١ , ٣). مبنى تجاري، شارع الضباب ـ الرياض.



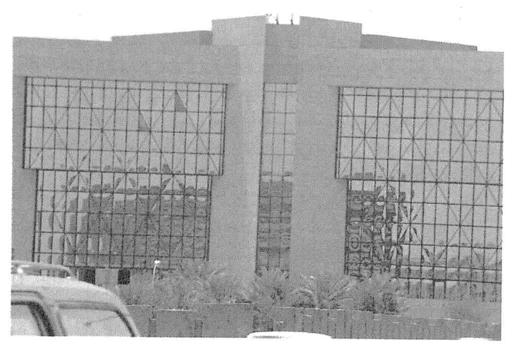
صورة رقم (٢ , ٣). مبنى تجاري، شارع الستين ـ الرياض.

إن الزجاج الخازن للحرارة (صور رقم ٣,٣ و٣,٤) هو الذي يتميز بسعة حرارية عالية، تمكنه من امتصاص نسبة كبيرة من أشعة الشمس المباشرة وتخزينها في شكل حرارة. وفي وقت لاحق يقوم الزجاج الخازن بالتخلص من الحرارة إلى الداخل والخارج بواسطة تيارات الحَمْل والإشعاع. أمّا النسبة المتبقية فيتم عكس جزء منها إلى الخارج وينفذ الجزء المتبقي من أشعة الشمس إلى الداخل. أمّا الزجاج العاكس فهو الذي له قدرة كبيرة على عكس أشعة الشمس الساقطة عليه إلى الخارج وامتصاص ونفاذ نسبة ضئيلة منها. كذلك يقوم الزجاج العاكس بالتخلص من النسبة الضئيلة التي امتصها إلى الداخل والخارج بواسطة تيارات الحَمْل والإشعاع. وتتفاوت كفاءة الانعكاس وتعتمد على نوعية الطلاء الذي يتم به معالجة الزجاج. إن معامل الحجب الخاص بالزجاج glass shading coefficient هي كمية الحرارة المكتسبة نتيجة للطاقة الشمسية التي تنفذ من الزجاج العاكس للحرارة بالمقارنة إلى كمية الحرارة المكتسبة نتيجة للطاقة الشمسية التي تنفذ من خلال نفس المساحة من الزجاج العادي بسماكة ٣ مم. وهكذا يمكن الاستفادة من طبقات الهواء بين ألواح الزجاج المزدوج في عملية العزل الحراري إذ أنها تقلل من معدل انتقال الحرارة بواسطة التوصيل، ويستحسن ألا يزيد عرض الفراغ الهوائي على ٢,٥ سم. أما إذا زاد عرض الفراغ الهوائي عن هذا المعدل، فقد ينشأ تيار الحَمْل الذي يعمل على إيصال الحرارة من لوح الزجاج الحار إلى لوح الزجاج البارد نسبيا (Crowther, 1977). وفي بعض الأحوال يمكن استعمال ثلاثة ألواح زجاجية وفراغين للهواء لزيادة كفاءة العزل الحراري. و الجدول رقم (٣,٢) يعطي الخصائص الفيزيائية لبعض أنو اع الزجاج.

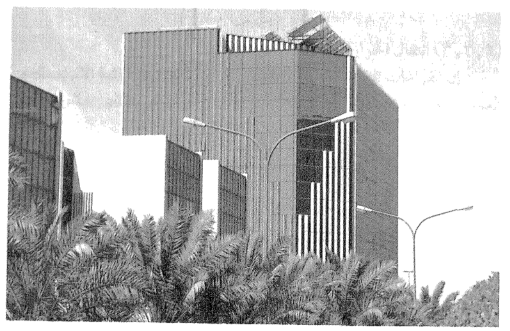
(٣,٣) الحَمْل الحراري Thermal Convection

(٣,٣,١) مسببات الحَمْل الحراري

إن التغييرات التي تحدث في درجة حرارة السوائل والغازات تؤدي إلى تفاوت في كثافة جزيئاتها، وينتج عن ذلك حركة طبيعية نتيجة لارتفاع الجزيئات الأقل كثافة والأكثر حرارة إلى أعلي لتحل محلها جزيئات أكثر كثافة وأقل



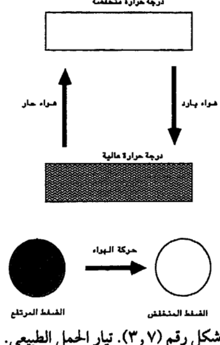
صورة رقم (٣,٣). الواجهة الغربية لمبنى تجاري، شارع الستين ـ الرياض.



صورة رقم (٣,٤). الواجهة الشمالية لمبنى تجاري، شارع العليا ـ الرياض.

حرارة، وتُعرف هذه الحركة الهوائية بالحَمْل الحراري، شكل رقم (٣,٧). أمّا إذا حُرك السائل أو الغاز بواسطة المضخات أو المراوح فتُعرف هذه الحركة بالحَمْل القسري. ويمكن انتقال الحرارة من سطح ما إلى سائل أو غاز أو من الغاز أو السائل إلى السطح بواسطة تيارات الحَمْل الحراري أو القسري. إن تدفق الحرارة بواسطة تيارات الحَمْل في المباني هو في الأصل انتقال الحرارة من السطح الحار إلى السطح الأقل حرارة بواسطة الهواء، والعوامل الرئيسية التي تؤثر على معدل انتقال الحرارة بواسطة تيارات الحَمْل هي:

(أ) مساحة الاتصال بين السطح والهواء المحيط به.
(ب) الفرق بين درجة حرارة الهواء ودرجة حرارة السطح.
(جـ) معامل الحَمْل وهو يعتمد على لزوجة وسرعة الهواء وطبيعة السطح.



شكل رقم (٣,٧). تيار الحمل الطبيعي.

أما قيّم معامل الانتقال الحراري بواسطة الحَمْل فهي كالتالي (Perburry, 1978):

(أ) الحوائط = ٣,٠ واط/متر مربع- درجة مئوية (حرارة مطلقة).
(ب) الأسقف = ٤,٣ واط/مترمربع- درجة مئوية، (اتجاه الحرارة إلى أعلى).

(جـ) الأسقف = ١,٥ واط/مترمربع - درجة مئوية، (اتجاه الحرارة إلى أسفل).

أما بالنسبة للأسطح التي تكون معرضة للرياح فيمكن حساب معامل الحَمْل كالآتي:

$$h_c = 5.8 + 4.1\ v \qquad (٣,١٠)$$

حيث

v = سرعة الهواء متر/ثانية.

وبالتالي يمكن حساب معدل انتقال الحرارة نتيجة لتيارات الحـمْل (Q_{cv}) بواسطة المعادلة التالية (Perburry, 1978):

$$Q_{cv} = h_c \times A \times \Delta T \qquad (٣,١١)$$

حيث

h = معامل الحَمْل الحراري (واط/متر مربع).

A = مساحة السطح (متر مربع).

ΔT = الفرق بين درجة حرارة السطح والهواء المحيط به (درجة مئوية).

(٣,٣,٢) انتقال الحرارة عبر الفراغات الهوائية

إن الفراغات الهوائية air space أصبحت من الظواهر الشائعة الاستعمال في العمارة المعاصرة، وذلك لأن الهواء يُعتبر عنصرا مهما من عناصر مقاومة انتقال الحرارة في المباني. وتنقسم الفراغات الهوائية إلى قسمين هما:

(أ) الفراغات الهوائية الرأسية والتي ترتبط بالأجزاء العمودية في المباني كالحوائط والنوافذ.

(ب) الفراغات الهوائية الأفقية والتي ترتبط بالأجزاء الأفقية في المبانـي كالأسقف والأرضيات.

ومن أهم العوامل التي تحدد وتتحكم في معدل تدفق الحرارة عبر الفراغات الرأسية المغلقة الآتي:

١ ـ سمك الفراغ الهوائي.

٢ ـ المقدرة الإشعاعية للأسطح المحدِّدة للفراغ.

جدول رقم (٢ . ٣). الخصائص الفيزيائية للزجاج العادي والملون والعاكس للأشعة.

نوعية وعدد ألواح الزجاج	سمك الفراغ الهوائي مليمتر	نسبة مرور الإنــارة ٪	معامــل الإشعاع ٪	معامــل الحَجْــب (نسبة)
٢X٤ مم زجاج عادي	١٢	٧٧	٧٧	٠,٨٨
٢X٦ مم زجاج عادي	١٢	٧٦	٧٣	٠,٨٤
٢X٨ مم زجاج عادي	١٢	٧٤	٦٨	٠,٧٨
٤ مم زجاج مطلي بالبرونز + ٤ مم زجاج عاد	١٢	٥٥	٦٠	٠,٦٨
١٢ مم زجاج مطلي بالبرونز + ٦ مم زجاج عادي	١٢	٢٢	٢٦	٠,٣٠
٦ مم زجاج مطلي باللون الرمادي + ٦مم زجاج عادي	١٢	٣٨	٥٢	٠,٥٩
١٢مم زجاج مطلي باللون الرمادي + ٦ مم زجاج عادي	١٢	١٦	٣١	٠,٣٦
٦مم زجاج فضي عاكس + ٦ مم زجاج عادي	١٢	٧	١٦	٠,١٨
٨ مم زجاج فضي عاكس +٦ مم زجاج عادي	١٢	١٩	٢٦	٠,٣٠
٦ مم زجاج ذهبي عاكس + ٦ مم زجاج عادي	١٢	٧	١٧	٠,٢٠

المصدر: Van Straaten (1967). p. 118.

أما بالنسبة للفراغات الهوائية الأفقية فأهم العوامل التي تحدد وتتحكم في معدل تدفق الحرارة خلالها الآتي:

١ ـ سمك الفراغ الهوائي.

٢ ـ المقدرة الإشعاعية للأسطح المحُدِدة للفراغ.

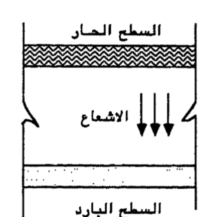
٣ ـ اتجاه تدفق الحرارة.

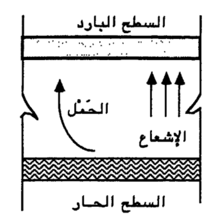
إذا كان سمك الفراغ الهوائي أكثر من ٢,٥ سم، يتم انتقال الحرارة عبر لفراغ بواسطة الإشعاع والحَمْل والتوصيل، أمّا إذا كان سمك الفراغ أقل من ذلك، فإنّ انتقال الحرارة في هذه الحالة يتم بواسطة الإشعاع والتوصيل، حيث يتعذر على تيارات الحَمْل أن تتكون نتيجة لصغر سمك الفراغ. لاشك أن الموصلية الحرارية للهواء الثابت still air تُعتبر منخفضة جدا، ولكن هذا لايعني أن للهواء مقاومة عالية لانتقال الحرارة إذ أن ما يعادل ٦٠٪ إلى ٦٥٪ من الحرارة تنتقل عبر الفراغ الهوائي بواسطة الأشعة ذات الموجات الطويلة في حين أن النسبة الباقية تنتقل بواسطة تيارات الحَمْل (Van Straaten, 1967). وعندما يزيد سمك الفراغ على ٢,٥ سم فإن نسبة انتقال الحرارة بواسطة التوصيل تكون ضئيلة جدا بينما تتكون تيارات الحَمْل التي تساعد على تدفق المزيد من الحرارة. أمّا معدل تدفق الحرارة بواسطة الإشعاع فيعتمد على معامل الانبعاثية الحرارية للمواد المستعملة للأسطح المحددّة للفراغ الهوائي. وبما أن معامل الانبعاثية الحرارية لمعظم مواد البناء في حدود ٠,٩٠، فإن معامل الانبعاثية الحرارية الكلي للفراغ الهوائي تكون حوالي ٠,٨٢. أمّا عندما يكون أحد الأسطح المحددة للفراغ سطحا عاكسا كرقائق الألومنيوم، فإنّ معامل الانبعاثية الحرارية الكلي للفراغ الهوائي في هذه الحالة يكون حوالي ٠,٠٥. أمّا عندما يكون السطحان اللذان يحددان الفراغ الهوائي من رقائق الألومنيوم فإنّ معامل الانبعاثية الحرارية الكلي للفراغ الهوائي ينخفض إلى ٠,٠٣ (Givoni, 1981). إن اتجاه تدفق الحرارة مهم جدا في حالة الفراغات الأفقية. عندما يكون اتجاه الحرارة من أسفل إلى أعلى، في هذه الحالة يكون الهواء الملاصق للسطح الأسفل أكثر حرارة وأقل كثافة فيرتفع إلى أعلى حاملا معه الحرارة إلى السطح الأعلى، وبذلك تساعد تيارات الحَمْل في نقل الحرارة عبر الفراغ (الجدول رقم ٣,٣). أمّا عندما يكون اتجاه انتقال الحرارة من أعلى إلى أسفل، تكون جزيئات الهواء الملاصقة للسطح العلوي هي الأكثر حرارة والأقل كثافة ويؤدي ذلك إلى عدم وجود تيار للحَمْل الحراري ويقتصر انتقال الحرارة على الإشعاع (الشكل رقم ٣,٨).

جدول رقم (٣,٣). معامل التوصيل الحراري للفراغات الهوائية.

م	موقع الفراغ الهوائي واتجاه تدفق الحرارة	مادة عاكسة من جانب واحد	مواد عادية على جانبي الفراغ
١	فراغ رأسي - (الحرارة في الاتجاهين)	٢,٤	٥,٠
٢	فراغ أفقي - (الحرارة من أسفل إلى أعلى)	٢,٧	٥,٣
٣	فراغ أفقي - (الحرارة من أعلى إلى أسفل)	١,٢	٤,٠

المصدر: Givoni (1981). p. 111.





شكل رقم (٨,٣). تدفق الحرارة خلال الفراغ الهوائي الأفقي المغلق.

(٤,٣) السعة الحرارية Heat Capacity

تُعتبر خاصية تخزين الحرارة لمواد البناء من الخصائص المهمة جدا نظرا لتأثيرها على الأداء الحراري للمباني. وخاصية تخزين الحرارة تعتمد على معدل امتصاص الحرارة وانتشارها خلال جزيئات المادة والتي تحددها السعة الحرارية والموصلية الحرارية للمادة. والسعة الحرارية هي المعيار الذي يمكن بواسطته تحديد قدرة وحدة الحجم من المادة على اختزان الحرارة وهي تتناسب طرديا مع كثافة المادة density، والحرارة النوعية specific heat لها. وفي هذه الحالة تُعرف بالسعة الحرارية الحجمية (C_V) ويمكن حسابها بواسطة المعادلة التالية (Van Straaten, 1967):

$$C_v = \rho C_p \ V(\Delta T) \quad (٣,١٢)$$

حيث

C_v = السعة الحرارية الحجمية (كيلو كالوري / متر مكعب).

ρ = كثافة المادة (كجم/ متر مكعب).

C_p = معامل الحرارة النوعية (كيلو كالوري/ كجم- درجة مئوية).

V = حجم المادة (متر مكعب).

ΔT = مقدار الارتفاع في درجة الحرارة (درجة مئوية).

الكالوري calorie هي وحدة قياس الطاقة الحرارية ويمكن تعريفها بأنها كمية الحرارة التي ترفع درجة حرارة وحدة واحدة من المادة بدرجة حرارة واحدة. أي أنها كمية الحرارة التي ترفع درجة حرارة واحد سنتيمتر مكعب من الماء بدرجة مئوية واحدة، من ١٥° إلى ١٦° م. أما السعة الحرارية بالنسبة للحائط أو السقف فإنها ترمز إلى كمية الحرارة التي ترفع درجة حرارة وحدة واحدة من المساحة بدرجة مئوية واحدة. إن التباين بين قيم الحرارة النوعية لمواد البناء المختلفة يُعتبر قليلا جدا مقارنة بالتباين بين قيم الكثافة. وكمثال لذلك فإنّ الحرارة النوعية للصوف المعدني mineral wool تُقدر بحوالي ٠,١٩ كيلو كالوري/ كجم - درجة مئوية، بينما تُقدر الحرارة النوعية للخشب بحوالي ٠,٣٤ كيلو كالوري/ كجم - درجة مئوية. وفي المقابل فإن كثافة مواد البناء تتباين تباينا واضحا، إذ تُقدر كثافة الفلين الرغوي الممدد expanded polystyrene بحوالي ٥٠ كجم/ متر مكعب في حين أن كثافة الخرسانة تصل إلى ٢٣٠٠ كجم/ متر مكعب كما هو واضح في الجدول رقم (٣,٤).

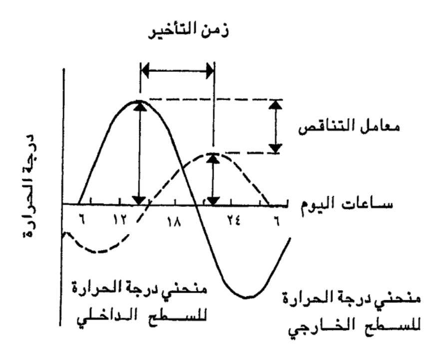
إن خاصية تخزين الحرارة والاحتفاظ بها تُعتبر من الخصائص المهمة والفعّالة بالنسبة للمباني في المناطق ذات المناخ الحار الجاف حيث التباين الكبير في درجة حرارة الهواء بين كل من الليل والنهار والصيف والشتاء. إن مفعول السعة الحرارية في هذه المناطق قد يكون ذا فائدة كبيرة مقارنة بمفعول العوازل الحرارية، وهذا يتضح لنا من الأداء الحراري للمباني التقليدية. إن الحوائط السميكه للمباني التقليدية والتي تميّزت بسعتها الحرارية العالية قد ساعدت كثيرا في توفير قدر مناسب من الراحة الحرارية للفراغات الداخلية. عندما يتعرّض السطح الخارجي للحائط إلى أشعة الشمس المباشرة وإلى الأشعة المنعكسة والمنتشرة ويتفاعل مع الهواء الحار أثناء النهار ترتفع درجة حرارته، ومن ثمّ تبدأ الحرارة في التدفق إلى

جدول رقم (٤ . ٣). الموصلية الحرارية والكثافة والحرارة النوعية.

	مواد البناء	الموصلية الحرارية كيلو كالوري / متر - ساعة - درجة مئوية	الكثافة كجم / متر مكعب	الحرارة النوعية كيلـو كالوري/ كجم - درجة مئوية
١	الخرسانة العادية	١,١	٢٣٠٠	٠,٢٤
٢	خرسانة خفيفة الوزن	٠,٢٧	٦٠٠	٠,٢٥
٣	طوب	٠,٧٠	١٨٠٠	٠,٢٢
٤	خشب	٠,١٧ _ ٠,١١	٨٠٠ _ ٥٠٠	٠,٣٤
٥	ألياف خشب (عازلة)	٠,١٧ _ ٠,٠٣٨	٨٠٠ _ ٢٣٠	٠,٣٤_٠,٣٥
٦	صوف معدني	٠,٠٥	٤٥٠	٠,١٩
٧	فلين رغوي (ممدد)	٠,٠٣	٥٠	٠,٤٠
٨	لياسة من الأسمنت	٠,٦	١٨٠٠	٠,٢٤

المصدر: Givoni (1981). p. 113.

الداخل بواسطة التوصيل. وبما أن الحائط سميك وله سعة حرارية عالية ويستطيع تخزين كميات كبيرة من الحرارة، فهذا يعني أن جزءا كبيرا من الحرارة يتم تخزينه بواسطة الحائط ويؤدي إلى رفع درجة حرارته. وبالتالي يتسبب في تأخير مـرور الحرارة إلى السطح الداخلي. ونتيجةً لذلك فإن المعدلات الكبرى لدرجة حـرارة السطح الداخلي تكـون أقل من المعدلات الكبرى لدرجة حرارة السطح الخارجي. وهنالك أيضا الفارق الزمني، إذ أنّ أعلى درجة حرارة للسطح الداخلي تحدث في زمن متأخر مقارنة بزمن حدوث أعلى درجة حرارة للسطح الخارجي. إن الفرق الزمني بين حدوث المعدلات الكبرى لدرجة حرارة السطح الداخـلـي وحـدوث المعدلات الكبرى لدرجة حرارة السطح الخارجي يُعرف بزمن التـأخيـر أو الإزاحـة الحـرارية time-lag (شكل رقم ٩ ,٣).



شكل رقم (٩ , ٣). مفعول السعة الحرارية على تدفق الحرارة.
المصدر: Koenigsberger (1973). p. 84

وعندما تغيب الشمس، تبدأ درجة حرارة الهواء الخارجي في الانخفاض، وهذا بدوره يتيح فرصة جيدة للسطح الخارجي للتخلص من حرارته بمعدل أعلى من تخلص السطح الداخلي من الحرارة وذلك نسبة لتفاعله المباشر مع الهواء الخارجي. وعندما تصل درجة حرارة السطح الخارجي إلى مستوى أقل من درجة حرارة السطح الداخلي في هذه الحالة ينعكس اتجاه تدفق الحرارة ليصير من الداخل إلى الخارج .

(٥ , ٣) العزل الحراري Thermal Insulation

يمكن بوجه عام تعريف العزل الحراري في المباني بأنه الوسيلة التي يمكن بواسطتها مقاومة انتقال الحرارة عبر أجزاء المبنى المختلفة. ومن الأسباب الرئيسية التي تستوجب إستعمال المواد العازلة الآتي:

(أ) الاحتفاظ بالحرارة داخل المبنى في المناطق الباردة ومقاومة انتقالها إلى الخارج. و الاحتفاظ بالبرودة الداخلية ومقاومة انتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل في المناطق الحارة.

(ب) التقليل من مفعول الإشعاع، وخاصة أشعة الشمس المباشرة التي تسقط على الأسقف والحوائط الخارجية بكثافة عالية، كما هو الحال في المناطق الحارة.

(جـ) حماية العاملين من خطورة الإشعاع الحراري من مصادر الحرارة المرتفعة.

(د) التحكم في الحركة الحرارية من تمدد وانكماش للعناصر الإنشائية.

(هـ) ضمان سرعة الاستجابة للتدفئة والتبريد غير المستمر في حالة استعمال الكتل الإنشائية السميكة ذات السعة الحرارية العالية.

(و) التحكم في التكاثف على الحوائط والأسقف.

ويمكن تقسيم المواد العازلة بشكل عام إلى مجموعتين رئيسيتين، المجموعة الأولى تشتمل على المواد التي تقاوم انتقال الحرارة بواسطة الإشعاع، والمجموعة الثانية تشتمل علي المواد التي تقاوم انتقال الحرارة بواسطة التوصيل. المواد العازلة في المجموعة الأولى تعتمد أساسا على خصائص سطحها الخارجي والتي تتمثل في معامل امتصاص منخفض ومعامل انبعاث منخفض. وتُعتبر رقائق الألومنيوم aluminum foil من أهم هذه المواد وهي تستعمل دائما في الفراغات الهوائية في الحوائط والأسقف والأرضيات. أما المجموعة الثانية فهي التي تعتمد على خاصية توصيل الحرارة، وهي المواد التي تتميّز بمعامل موصلية حرارية منخفضة. وهذه المجموعة هي التي ينتشر استعمالها في المباني، ويمكن تقسيمها استنادا إلى المواد التي صنعت منها إلى أربع مجموعات هي:

(أ) مواد عازلة حيوانية

. وهي التي يتم صنعها من صوف الحيوانات واستعمال هذا النوع من العوازل في المباني محدود للغاية.

(ب) مواد عازلة نباتية

وهذه المجموعة تشمل المواد الليفيـة fibrous والمواد التي تتكون من خلايا النباتات cellular plant ومنها القش والتبن والقطن والفلين. . . إلخ.

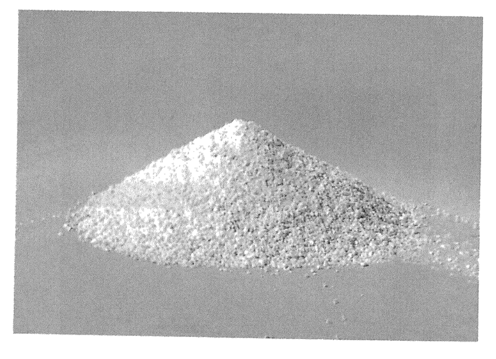
(جـ) المواد المُصنَّعة

وهذه المجموعة تشمل المطـاط المُركب والبلاستيك الرغوي. وقد انتـشـر استعمال النوع الأخير انتشارا واسعا وهو ينقسم إلى نوعين هما الفلين الرغـوي polystyrene والبوليوروثين polyurethane.

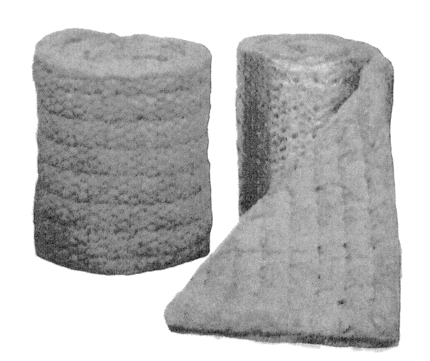
(د) مواد عازلة معدنية

ومن هذه المواد الـصوف الزجاجي glass wool والصوف المعدني mineral wool .

وتنقســم المواد العازلة استنادا إلى تشكيلها إلى أربعة أنواع (صـور أرقـام ٣,٥ إلى ٣,٨) هي:



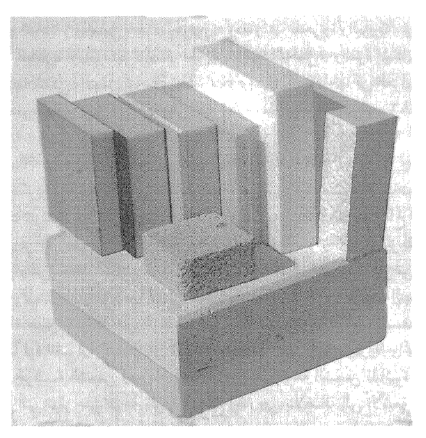
صورة رقم (٣,٥). مواد عازلة سائبة حبيبية.



صورة رقم (٦ , ٣). مواد عازلة في شكل لفات.



صورة رقم (٧ , ٣). البولويورثين السائل.



صورة رقم (٣,٨). مواد عازلة في شكل ألواح.

(أ) المواد السائبة، وهي إما أن تكون مواد ليفية أو حبيبية أو في شكل بودرة، ومن أشهرها الصوف الزجاجي والصوف الصخري.
(ب) المواد التي تُصنع في شكل لفات أو شرائح مرنة وأهمها الصوف المعدني.
(جـ) المواد التي تُصنع في شكل ألواح صلبة وأهمها ألواح الفلين الرغوي وألواح الخرسانة الرغوية.
(د) المواد التي يتم تركيبها في الموقع وأهمها البوليوروثين.

(٣,٥,١) خصائص المواد العازلة Characteristics of insulating materials

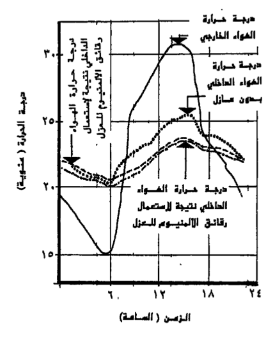
إن اختيار المواد العازلة يجب ألا يقتصر على كفاءتها في مقاومة انتقال الحرارة فقط، بل يجب الأخذ في الاعتبار كل الخصائص الأخرى مثل الكثافة،

والحرارة النوعية، ومعامل التمدد الحراري، ومقاومتها للحرارة والبرودة، ومقاومتها لانتقال البخار، ومقاومتها لانتقال الحريق، وقوة التحمل، والقوة الميكانيكيــة، ومقاومتها للتآكل والتعفن بواسطة الحشرات، ومدى تأثر كفاءتها في العزل الحراري نتيجة لتعرضها للأتربة والرياح والرطوبة (المؤسسة العامة للكهرباء، ١٩٨٦).

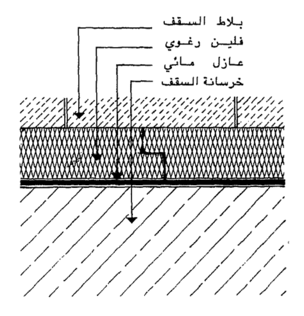
(٢ , ٥ , ٣) موقع العازل الحراري Positioning of insulation

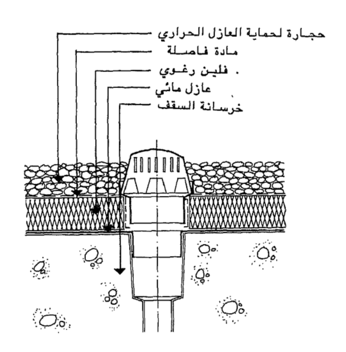
يتكون الغلاف الخــارجي للمبنى من الحوائط والأسقـف والفتحات ، وهي المكونات الرئيسية لـلمبنى، وتتفاوت هذه العناصر في تفاعلهــا مع المناخ الخارجي وبالتالي في تأثيرها على المناخ الداخلي. في المناطق الاستوائية التي تتميّز بقوة أشعة الشمس والتي تسقط لفترات طويلة خاصة خــلال فصل الصيف، يتعرض الغلاف الخارجي للمبنى لهذه الأشعة، والتي تصل أعلى مستوياتها في منتصف النهار عندما تكون الشمــس عمودية على السقـف إذا كان مستويا. أما إذا كان الــسقف مائلا فتتفاوت قوة الحــرارة الناتجة عن الأشعة الساقطــة على حسب درجة واتجاه الميول بالنسبة لحركـــة الشمس (سعيد، ١٩٨٧). تُعتبــر أشعة الشمس المباشرة من أهم العوامل التي تؤثر على درجة حرارة السطح الخارجي بالإضافة إلى الأشعة المنعكسة والمنتشرة وتيارات الهواء. ترتفع درجة حرارة السطح الخارجي للأسقف والحوائط، وتأخذ الحرارة في التدفق إلى الداخل بواسطة التوصيل إذا كان الحــائط أو الســقف مصــمت ولايحــتوي على فجوات هوائية. ومن أجل تخفيض معدل تدفق الحرارة يمكن وضع بعض العوازل الحرارية كجزء من مركبات السقف أوالحائط (الشكل رقم ٣, ١٠). عندما تُستعمل المواد العازلة للــحرارة في الأسقف لربما تتعرض إلــى ضغط عالي نتيجة للأحمال المختلفة خاصة إذا كان السقف يستعمل كسطح و في هذه الحالة لابد من حمايته. أمّا عندما يكون السقف غير مستعمل كسطح، في هذه الحالة لا بد من حماية العازل الحراري من أشــعة الشمس المباشـرة بشتى الوسائل (الشكل رقم ٣, ١١). أما متطلبات العزل الحراري في الحــوائط فتختلف باختلاف نوعية الحائط ونسبة تعرضه لأشعة الشمس المباشرة. ففي نصف الكرة الشمالي تُعتبر الواجهة الشمالية أقل الواجهات تعرضا لأشعة الشمس المباشرة في حين أن الواجهة الغربية تُعتبــر أكثر الواجهات تعرضا لحرارة المناخ الخارجي، وذلــك نتيجة لسقوط أشعة الشمس المباشرة عليهــا في وقت تكون فيه درجة حرارة الهواء الخارجي في أعلى معدلاتها، فهي بالتالي تحتاج إلى عناية فائقة ومعالجة دقيقة (Watson, 1983).

الواجهة الشرقية تأتـي بعد الواجهة الغربية إذ أنها تتعرض لأشعة الشـمس المباشرة خلال الفترة الصباحية عندما تكون معدلات درجة حرارة الهواء منخفضة نسبيا. أما الواجهة الجنوبية فإنـها تتعرض لأشعة الشمس أثناء النهار ويمكن حـمايتها بسهولة بواسطة كاسرات الـشمس الرأسية والأفقية (سعيد، ١٩٨٧م). إن اسـتعمال المواد العازلة في الحوائط يُعتبر أقل تعـقيدا بالمقارنة لاستعمالها في الأسقف وذلك لعدم تعرضها للضغط والمعدلات العالية من أشـعة الشمس والرطوبة والأمطار. وقد قام العديد من الباحثين بعمل الدراسات الميدانية والمعملية لتحديد الوضع الأمثل للمـواد العازلة (Diamant, 1965 وميرزا، ١٩٨٩م). وقد أثبتت هذه التجارب أن كفــاءة العــزل الحراري تزداد عندما يتـم وضعها في مواجهة الحرارة. بالنسبة للمناطق ذات المناخ الحار الجاف، وخاصة عندما يكون المبنى معتمدا اعتمادا كليا على أدائه الطبيعــي، يكون الوضع الأمثل للـعازل الحراري في السطح الخارجي لـلحائط أو السقف. ولا شك أن موقع الطبقة العازلة في الحائط له أثر كبير على مقدار التحسن والذي يتمثل في زيـادة الإزاحة الحرارية time-lag (صورة ٩ ,٣ و ١٠ ,٣).

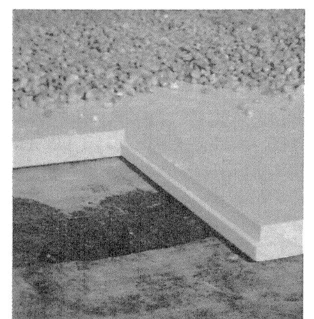


شكل رقم (١٠ ,٣). مفعول العزل الحراري على درجة حرارة الهواء.
المصدر: Saini (1980). p. 53.

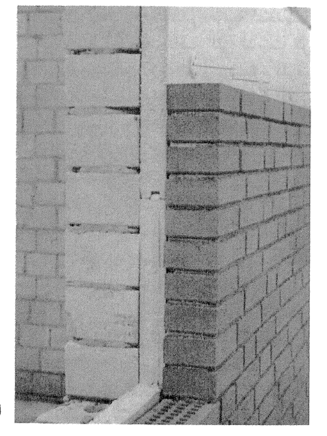




شكل رقم (٣,١١). حماية العازل الحراري.
المصدر: ميرزا (١٩٨٩م).



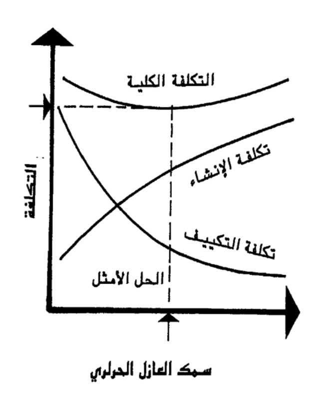
صورة رقم (٩ , ٣).
البولستيرين الممدد للأسقف.



صورة رقم (١٠ , ٣).
البولستيرين الممدد للحوائط.

(٣,٥,٣) معامل انتقال الحرارة الكلي U - value

تُستعمل المواد العازلة في المناطق الباردة من أجل الاحتفاظ بالحرارة داخل المبنى ومقاومة تسربها إلى الخارج، وفي هذه الحالة تكون خاصية العزل الحراري هي العنصر المهم. أما بالنسبة للمناطق الحارة الجافة والتي تتميّز بالتباين الواضح في درجات الحرارة أثناء النهار مقارنة بدرجات الحرارة أثناء الليل، وعندما يكون التحكم في المناخ الداخلي معتمدا جزئيا أو كليا على الوسائل الطبيعية، فإن خاصيتي العزل الحراري والتخزين الحراري يمثلان أهم عنصرين. ومن المؤكد أنه كلما زادت كفاءة العزل الحراري للمبنى، انخفض معدل انتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل أو العكس. ولكن من وجهة النظر الاقتصادية لابد من الوصول إلى الحل الأمثل optimum solution والذي يضمن التوازن بين تكلفة العازل الحراري وبين تخفيض تكلفة التبريد أو التدفئة. هنالك العديد من الدراسات التي تحدد كيفية الوصول إلى السماكة المثالية للطبقة العازلة (شكل رقم ١٢ ,٣)، (المقرن، ١٩٨٩ و Markus, 1976). ليس من السهل وضع أُسس عامة لتحديد مستويات العزل الحراري إذ لابد من وضع الحلول الخاصة التي تناسب كل مشروع على حده بناء على نوعية المشروع واستعمالات المبنى ومناخ الموقع وتكلفة العزل الحراري، وتكلفة الطاقة، وحسب مواصفات ومتطلبات العزل الحراري والتي قد تختلف من بلد إلى آخر بل وقد تتباين هذه المتطلبات في البلد الواحد. إن انتقال الحرارة من الخارج إلى الداخل أو العكس عبر غلاف المبنى، وفي حالة غياب أشعة الشمس المباشرة، يعتمد على التباين في درجات حرارة الهواء الداخلي والخارجي، والمساحة المعرّضة من السطح والمنافذة الحرارية للغلاف. إن المنافذة الحرارية أو معامل انتقال الحرارة الكلي تساوي مقلوب المقاومة الكلية، والتي تتكون من مجموع مقاومات الطبقات المختلفة التي يتكون منها الحائط أو السقف أو الأرضية بالإضافة إلى مقاومة الطبقة الهوائية الثابتة والملاصقة للسطحين الداخلي والخارجي (Saeed, 1975).



شكل رقم (١٢ , ٣). العلاقة بين تكلفة العزل الحراري وتكلفة التكييف.
المصدر: Markus (1976) p. 28.

(٤ , ٥ , ٣) حساب معامل انتقال الحرارة الكلي

من أجل حساب معامل انتقال الحرارة الكلي يتم اتباع الخطوات التالية :

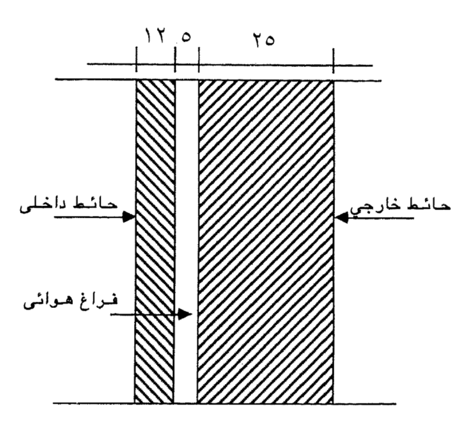
(أ) يتم رصد كل المواد التي تُمثل الطبقات المختلفة (شكل رقم ١٣ , ٣)، التي يحتويها الحائط أو السقف في العمود الأول في الجدول رقم (٥ , ٣) ويتم رصد سمك كل مادة في العمود الثاني.

(ب) ومن الجدول رقم (٦ , ٣) يتم تحديد مقاومة السطح الخارجي، والذي يعتمد على مدى تعرض الحائط أو السقف للمناخ الخارجي ، ويتم رصدها في العمود الرابع في الجدول رقم (٥ , ٣).

(جـ) ومن الجدول رقم (٧ , ٣) يتم تحديد الموصلية الحرارية لمواد البناء المختلفة التي يحتويها الحائط أو السقف ومن ثمّ يتم تسجيلها في العمود الثالث في الجدول رقم (٥ , ٣).

(د) من الجدول رقم (٣,٨) يتم تحديد قيمة مقاومة الطبقة الهوائية ويتم تسجيلها في العمود الرابع في الجدول رقم (٣,٥).

(هـ) يتم حساب المقاومة الحرارية لكل المواد المستعملة في الحائط أو السقف وهي تعادل حاصل قسمة سمك المادة المسجل في العمود الثاني على الموصلية الحرارية المسجلة في العمود الثالث، ويتم تسجيلها في العمود الرابع.



شكل (٣,١٣). قطاع لحائط يحتوي على فراغ هوائي.

(و) من الجدول رقم (٣,٩) يتم تحديد معامل المقاومة الحرارية للسطح الداخلي، ومن ثمّ يتم تسجيلها في العمود الرابع. إن قيمة المقاومة الحرارية تكون ثابتة لكل الأجزاء العمودية من المبنى كالحوائط والفواصل الداخلية والنوافذ، بينما تختلف باختلاف اتجاه تدفق الحرارة بالنسبة للأجزاء الأفقية كالأرضيات والأسقف.

(ز) يتم حساب المجموع الكلي للمقاومة الحرارية (R) وذلك بجمع كل القيم في العمود الرابع، ومن ثـمّ يمكن تحديد المعامل الكلي لانتـقـال الحـرارة بواسطة المعادلة التالية:

$$U = \frac{1}{R}$$ (٣,١٣)

حيث

U = معامل انتقال الحرارة الكلي.

R = المجموع الكلي للمقاومة الحرارية.

إن معامل انتقال الحرارة الكلي U - value يُستعمل عادة في حساب تدفـق الحرارة عبر الأسقف والأرضيات والحوائط المتعددة الطبقات مع الأخذ في الاعتبار العناصر المناخية التي تؤثر على التبادل الحراري بين الهواء والأسطح. قامت في بعض الأقطار الجهات ذات الاختصاص بوضع لائحة للعزل الحراري تُحدد أعلى معامل لانتقال الحرارة الكلي المسموح به لعناصر الغلاف الخارجـي، وذلـك بهدف ترشيد استهلاك الطاقة في المباني كما هو واضح في الجدول رقم (٣,١٠). أما لائحة العزل الحراري لدول مجلس التعاون الخليجي فقد حددت قيمة معامل الانتقال الحراري الكلي للحوائط بـ ٠,٧٤١ واط/ متر مربع - درجة مـئـويـة، وللأسقف بـ ٠,٥٧ واط/ متر مربع - درجة مئوية (المؤسسة العامة للكهـربـاء، ١٩٨٦م). ولنفترض أن معامل الانتقال الحراري الكلي لحائط ما، كما في المثال السابق، يعـادل ١,١ واط/ متر مربع - درجـة مئوية. مـن أجـل تحـديـد السمك المطلوب من مادة العزل الحراري التي تم اختيارها، ولكي تكون قيـمـة معامل الانتقال الحراري الكلي متوافقة مع متطلبات اللائحة العامة لدول الخليـج العربية يمكن اتباع الخطوات التالية:

(أ) يتم اختيار المادة العازلة المناسبة بـنـاءً على مواصفاتها وتكلفتهـا، وطبيعـة المبنى... الخ.

(ب) لنفـترض أنـه تمّ اختـيار البولستـيرين الممـدّد، من الجدول رقـم (٣,٧) يتم تحديد الموصلية الحرارية للبولستيرين = ٠,٣٥ واط/ متر مربع - درجة مئوية.

(جـ) يتم حساب مقلوب معامل الانتقال الحـراري الكلي المطلوب باللائحة = $\frac{١}{٠,٧٤١}$ = ١,٣٥٠ متر مربع- درجة مئوية/ واط.

(د) معامل الانتقال الحراري الكلي للحائـط= ١,١ واط/ متر مربع - درجة مئوية .

(هـ) مقلوب معامل الانتقال الحراري الكلي للحائط = $\frac{١}{١,١}$ = ٠,٩٠٠ متر مربع - درجة مئوية/ واط.

(و) فرق معامل المقاومة الحرارية المطلوب = معامل المقاومة الحـرارية للحائـط والمطلـوب حسب اللائحة - معامـل المقاومـة الحرارية للحائـط الحالـي ١,٣٥٠ - ٠,٩ = ٠,٤٥٠ متر مربع- درجة مئوية/ واط.

(ز) سمك البولستيرين = فرق معامل المقاومة الحرارية X الموصلية الحرارية للبولستيريـن = ٠,٤٥ X ٠,٠٣٥ = ٠,٠١٥٧٥ =٠,٠١٥٨ متر. ويتم تحديـد سمك البولستيرين الممتد على ألا يقل عن ١,٦ سم.

جدول رقم (٣,٥). حساب معامل انتقال الحرارة الكلي لحائط مجوّف.

م	مواد البناء لطبقات الحائط المختلفة	سمك المادة متر	الموصلية الحرارية واط / متر مربع - درجة مئوية	المقاومة الحرارية مترمربع - درجة مئوية/ واط
١	مقاومة السطح الخارجي	-	-	٠,٠٥٣
٢	طوب عادي	٠,٢٥٠	٠,٧	٠,٣٥٧
٣	فراغ هوائي(مهوى)	٠,٠٥٠	-	٠,١٨٠
٤	طوب عادي	٠,١٢٠	٠,٧	٠,١٧١
٥	بياض	٠,٠١٥	٠,٥	٠,٠٣٠
٦	مقاومة السطح الداخلي	-	-	٠,١٢٠
٧	المجموع الكلي للمقاومة الحرارية			٠,٩١١

معامل انتقال الحرارة الكلي U-value= $\frac{١}{٠,٩١١}$ = ١,١ واط/ متر مربع -درجة مئوية

جدول رقم (٦ ,٣). معامل مقاومة السطح الخارجي.

	وحدة المبني	انبعاثية السطح*	مقاومة السطح لمختلف حالات التعرض للمناخ متر مربع / درجة مئوية – واط		
			محمـــي	عـــادي	شديد التعرض
١	الحائط	عاليـــة	٠,٠٨٠	٠,٠٥٣	٠,٠٢٧
	، ،	منخفضة	٠,١٠٦	٠,٠٦٢	٠,٠٢٧
٢	السقف	عاليـــة	٠,٠٧٠	٠,٠٤٤	٠,٠١٨
	، ،	منخفضة	٠,٠٨٨	٠,٠٥٣	٠,٠١٨

المصدر: Perburry (1978). p. 37.

* تكون انبعاثية السطح (ε) عالية لمعظم مواد البناء العادية بما فيها الزجاج وتكون منخفضة للمعادن اللامعة كالألومنيوم والحديد المجلفن.

جدول رقم (٧ ,٣). الخصائص الحرارية الفيزيائية لبعض مواد البناء.

م	مواد البناء	الحرارة النوعية جول/ كجم درجة مئوية	الكثافة الكتلية كجم/ متر مربع	الموصلية الحرارية واط/ مترمربع درجة مئوية	المقاومة الحرارية متر مربع درجة مئوية	المرجع
١	الأسبتس	١٠٥٠	٢٤٠٠	٠,١٧٠	٥,٨٨	(ASHRAE
٢	الأسفلت	٩٢٠	٢١١٠	٠,٧٤٠	١,٣٥	1966)
٣	الطوب العادي	٨٠٠	١٩٧٠	٠,٧٠٠	١,٤٣	"
٤	أسمنت بورتلاند clinker	٦٧٠	١٩٢٠	٠,٠٢٩	٣٤,٤٨	"
٥	طين (صلصال)	٩٢٠	١٠٠	–	–	"
٦	حجر خرساني	٦٥٣	٢٣٠٠	٠,٩٣٠	١,٠٨	"
٧	تراب مضغوط	–	١٥٠٠	٠,٠٦٤	١٥,٦٣	"
٨	لباد	–	٣٣٠	٠,٠٥٠	٢٠,٠٠	"
٩	طوب محروق	٨٢٩	١٧٩٠	–	–	"
١٠	زجاج	٧٥٠	٢٤٧٠	١,٠٠٠	١	"
١١	جبص	١٠٨٠	١٢٠٠	٠,٤٣٠	٢,٣٣	"

تابع جدول رقم (٣,٧). الخصائص الحرارية الفيزيائية لبعض مواد البناء.

م	مواد البناء	الحرارة النوعية جول/ كجم درجة مئوية	الكثافة الكتلية كجم/ متر مربع	الموصلية الحرارية واط/ مترمربع درجة مئوية	المقاومة الحرارية متر مربع درجة مئوية	المرجع
١٢	الحديد	٥٠٠	٧٢١٠	٤٧,٧٠٠	٠,٠٢	(ASHRAE
١٣	حجر جيري	٩٠٩	١٦٥٠	٠,٩٣٠	١,٠٨	1966)
١٤	رخام	٨٨٠	٢٦٠٠	٢,٦٠٠	٠,٣٨	"
١٥	رمل	٨٠٠	١٥٢٠	٠,٣٣٠	٣,٠٣	"
١٦	خشب	٢٧٠٠ـ١٩٠٠	١١٠٠ـ٣٧٠	٠,٢٥ـ٠,١١	٩,١ـ٤	"
١٧	ماهوقني	-	٥٥٠	٠,١٣٠	٧,٦٩	"
١٨	زنك مجلفن	٣٩٠	٧١٣٠	١١٠	٠,٠١	"
١٩	بولستيرين مُمدّد	-	٣٠ـ١٥	٠,٠٤ـ٠,٠٣	٣٣ـ٢٥	(Perburry
٢٠	ألواح الفلين	-	٣٢٠ـ١٤٠	٠,٠٦ـ٠,٠٥	٢٠ـ١٦,٧	1978)
٢١	لوح مجصص Plasterboard	-	٩٦٠	٠,١٦٠	٦,٢٥	"
٢٢	بياض	-	١٣٠٠	٠,٥٠٠	٢,٠٠	"
٢٣	خشب (ابلكاج)	-	٥٣٠	٠,١٤٠	٧,١٤	"
٢٤	صخرصفائحي	-	٢٦٠٠	١,٨٠٠	٠,٧٥	"
٢٥	حجر عادي	-	٢٨٠٠ـ٢٠٠٠	٢,٨ـ١,٣	٠,٥٧	"

المصدر: ASHRAE (1966). pp. 37.1 - 37.4 and Perburry (1978). p. 37.

جدول رقم (٨, ٣أ). نماذج من المقاومة الحرارية للفراغات الهوائية.

طبيعة الفراغ الهوائي	الرقم	المواد المحيطة بالفراغ الهوائي	المقاومة الحرارية متر مربع- درجة مئوية / واط
فراغ مُهوّى (Ventilated air Space) بسماكة لاتقل عن ٢٠ مم	١	فراغ هوائي بين الأسبتس والأسمنت والمواد التي لها إنبعاثية عالية .	٠,١٦
	٢	بين السقف المستعار والسقف العلوي المائل المصنوع من الأسبتس أو الحديد .	٠,١٤
	٣	كالمثال السابق مع استعمال الألومنيوم للسقف العلوي	٠,٢٥
	٤	فراغ هوائي بين سقف مستعار وسقف علوي مائل مصنوع من البلاط	٠,١١
	٥	فراغ هوائي في حائط عادي	٠,١٨

جدول رقم (٨, ٣ب). نماذج من المقاومة الحرارية للفراغات الهوائية .

طبيعة الفراغ الهوائي	الرقم	سمك الفراغ ونوعية المواد المحيطة به	اتجاه انتقال الحرارة أفقيا أومن أسفل إلى أعلى	اتجاه انتقال الحرارة من أعلى إلى أسفل
فراغ غير مهوى	١	٥٠ مم انبعاثية عالية	٠,١١	٠,١١
	٢	٥٠ مم انبعاثية منخفضة	٠,١٨	٠,١٨
	٣	٢٠ مم انبعاثية عالية	٠,١٨	٠,٢١
	٤	٢٠مم انبعاثية منخفضة	٠,٣٥	١,٠٦
	٥	٢٠ مم انبعاثية عالية من الزنك والحديد	٠,٠٩	٠,١١
	٦	٢٠ مم انبعاثية منخفضة من رقائق العزل الحراري	٠,٦٢	١,٧٦

المصدر: Perburry (1978). p. 37.

جدول رقم (٩ ,٣). معامل مقاومة السطح الداخلي.

م	وحـــــدة المبنـــــــــى	مقاومة السطح
١	الحائط	٠,١٢
٢	الأسقف والأرضيات عندما يكون اتجاه الحرارة إلى أسفل	٠,١٥
٣	الأسقف والأرضيات عندما يكون اتجاه الحرارة إلى أعلى	٠,١١

المصدر: Perburry (1978). p. 37.

جدول رقم رقم (١٠ ,٣). معامل انتقال الحرارة الكلي للمباني السكنية .

م	القطــــــــر	معامل انتقال الحرارة الكلي واط / متر مربع - درجة مئوية		
		الحائـــــــط	الســـــــقف	الأرضيـــات
١	إنجلتـــــــرا	١,١٤-٠,٨٥	١,٧-١,١٤	٠,٨٥
٢	فرنســـــــا	١,٩٩-١,١٤	١,٠٢-٠,٠٩	٢,١٠,١,٤٢
٣	ألمانيـــــــا	١,٥٣-١,١٩	-	-
٤	هولنـــــــدا	٠,٩٧-٠,٦٨	٠,٩٧-٠,٦٨	٠,٩٧-٠,٦٨
٥	كنـــــــدا	٠,٨٥-٠,٥٧	٠,٦٨-٠,٤٧	٠,٨٥-٠,٥٧
٦	الدول الاسكندنافية	٠,٩٠-٠,٦٨	٠,٥٧-٠,٤٦	٠,٥٧-٠,٤٦

المصدر: Van Straaten (1967). p. 139.

الفصل الرابع

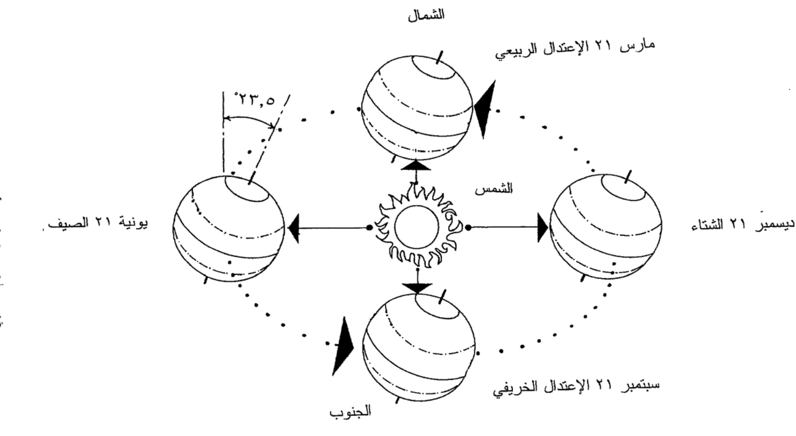
التظليل وكاسرات الشمس

● حركة الشمس ● كاسرات الشمس

(١, ٤) حركة الشمس

خلق الله عــز وجل الشمس وجعلها مــن آياته في هذا الكون وجعلهــا من أسباب الحياة علــى وجه الأرض. والشمس تمثل المصدر الرئـيسي للإشعاع الذي يحمل الطاقة التي تعطينا الدفء، والأشعة التي تعطينا الضوء. إن أشعة الشمس تمد النبات بالطاقة التي يحتاجها لعمل التمثيل الضوئي ليمد نفسه بالغذاء وبالتالي غيره من المخلوقات الأخرى كالإنسان والحيوان. ومن فوائد أشعة الشمس أنها تمد جسم الإنسان بفيتامين (د) والذي يُعتبر من العناصر المهمة لبناء الجسم. ومع التقدم الهائل في التقنية ازدادت أهمية الشمس فــصارت مصدرا للطاقة الكهربائية التي يتم توليدها بواسطة الخلايا الشمسيــة. ورغم أن استخراج الطاقة الكهربائية من أشعة الشمــس مازال قيد البحث والدراسة والتجارب، إلا أنه يُتوقــع خلال وقت قصير أن تصبح أشعة الشمس المباشرة من أهم مصادر الطاقة على الأرض.

يوجد للأرض حركتان هما، دوران الأرض حول نفسهــا مــرة كــل أربعة وعشرين ساعة وهو ما يسبب تعاقب الليل والنهار، ودوران الأرض حول الشمس مرة كل ســنة وهــو ما يسبب تعاقب الفصول الأربعة على الأرض كما هو مــبين في (الشكل رقم ١, ٤). إن الحركة الظاهرية للشمس حول الأرض خلال السنة تكون بين مدار السرطان شمالا ومدار الجدي جنوبا. وتــكون الشمس عمــودية على مــدار السرطان (خط عــرض ٢٣,٥ درجــة شــمالا) في شهر يونيه، وهو أقصى خط عرض تصله الشمس في نصف الكرة الشمالي حيث يكون الصيف، بينما يكون الشتاء على نصف الكرة الجنوبي. وبعدها تتجه الشمس نحو الجـنوب



شكل رقم (١ , ٤). حركة الأرض حول الشمس وحول محورها.

المصدر: Norbert (1991), p. 169

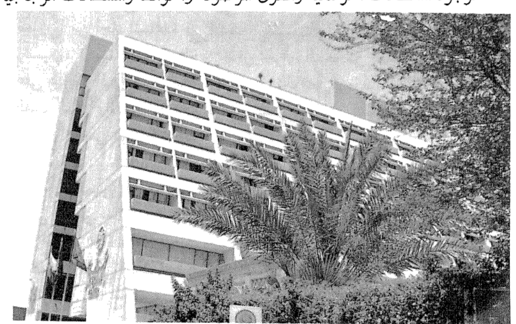
وتكــون عمودية على خط الاســتواء في شهر سبتمبر ويكون الجو معتدلا في كل المنــاطق التي تقـع حـول مدار السرطان شمالا ومــدار الجدي جــنــوبــا (خـط عـرض ٥ , ٢٣ درجـة جنـوبا).

ومن ثمّ تواصل الشمس تحركها جنــوبا حتى تصبح عــمودية على مــدار الجــدي في شهر ديسمبــــر. ويكون الفصل صيفا في نصف الكرة الجنوبي وشتاء في نصف الكرة الشمالي. وبعدها تتحرك الشمس نحو الشمال لتصير عموديـة على خط الإستواء مرة أخرى في شهر مارس فيكون الجو معتدلا في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي.

(٢ , ٤) كاسرات الشمس

إن الهدف الأساسي من وجود كاسرات الشمس هو منع أشعة الشمس من السقوط على الغلاف الخارجي للمبنى أو النفاذ إلى الفراغات الداخلية عندما تكون درجــة حرارة الهــواء الخارجي أعلى من المعدلات المطلوبة للراحـة الحـراريـة للإنسان. أما خلال فصل الشتاء البارد لا تكون هناك ضرورة لحماية المبنـى مـن أشعة الشمس، بل قد يكون سقوط الأشعة ونفاذها إلى الفراغات الداخـلـيـة ضروريا من أجل المساعدة في التدفئة. ينقسم تأثير أشعة الشمس إلى قســمين رئيسيين، القسم الأول يتمثل في تدفق الحرارة الناتجة من أشعة الشمس الساقطـة على عناصر المبنى غيرالشفافة كالأسقف والحوائط إلى الفراغات الداخليـة، أمّا القسم الثاني والذي يُعتبر أكثر فعاليّة، يتمثل في نفاذ أشعة الشمس المباشرة إلى الفراغ الداخلي من خلال الفتحات والنوافذ والمــواد الـشـفـافـة كـالـزجـاج والبلاستيك. . . الخ. لا شك أن النافذة تُمثل نقطة الضعف الأولى في الغـلاف الخارجي للمبنى إذ أنها تُعتبر المنفذ الرئيسي للحرارة. ففي المناطق الباردة أو في بعض المناطق الحارة التي تتميّز بشتاء بارد، تتسرب كميات كبيرة من الحرارة إلى الخارج عبر النافذة مقارنة بكميات الحرارة التي تتسرب من خـلال الحـائـط أو السقف. أما في المناطق الحارة، وخاصة في فصل الصيف الحار يكـون تـدفـق الحرارة من الخارج إلى الداخل بواسطة التوصيل عبر زجاج النافذة وبتسرب الهواء الحـار من الخارج و بنفاذ أشـعة الشمس المباشرة إلى الفراغ الداخلي. إن نفاذ أشعة الشمس المباشرة إلى الفراغ الداخلي يُعتبر من الوسائل الفعّالة لتدفق الحرارة

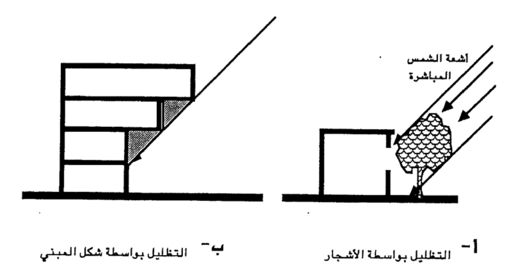
خاصة عندما تكون قوة أشعة الشمس عالية جدا كما هو الحال في معظم المناطق المدارية خلال فصل الصيف، وعندها يكون تظليل النافذة في غاية الأهمية. هنالك العديد من الوسائل التي تتيح حماية النافذة من أشعة الشمس والتي تتمثل في تصميم المبنى أو التظليل بواسطة الأشجار (صورة رقم ١,٤ و٤,٢)، (شكل رقم ٤,٢) أو التظليل بواسطة كاسرات الشمس، والتي تُعتبر الوسيلة الأكثر انتشارا وأكثر فعالية. إذا كان تظليل المبني من المتطلبات المهمة، فإنّ تظليل الفتحات والنوافذ يُعتبر ذا أهمية قصوى. إنّ الحَمْل الحراري الناتج من أشعة الشمس ينقسم إلى ثلاثة عناصر رئيسية هي؛ أشعة الشمس المباشرة، والأشعة المنعكسة، والأشعة المنتشرة. إنّ تظليل النافذة لا يقتصر علي حمايتها من الأشعة المباشرة فقط، إنما يشتمل أيضا على حمايتها من الأشعة المنعكسة والأشعة المنتشرة. ففي المناطق ذات المناخ الحار الرطب ترتفع نسبة الأشعة المنتشرة في الفضاء الخارجي نتيجة لوجود السحب الكثيفة، بينما ترتفع نسبة الأشعة المنعكسة في المناطق ذات المناخ الحار الجاف نتيجة لوجود المسطحات الصخرية و الرملية الخالية من الحشائش. وترتفع معدلات الأشعة المنعكسة في المناطق السكنية نتيجة لوجود المسطحات الخرسانية والطرق المرصوفة والحوائط والمسطحات الزجاجية.



صورة رقم (١,٤). الواجهة الجنوبية لمبنى سكني تجاري، العليا ـ الرياض.

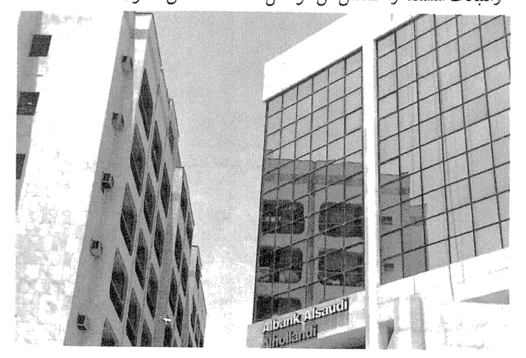


صورة رقم (٢ , ٤). تفصيلة لكاسرات الشمس المزدوجة على الواجهة الجنوبية.



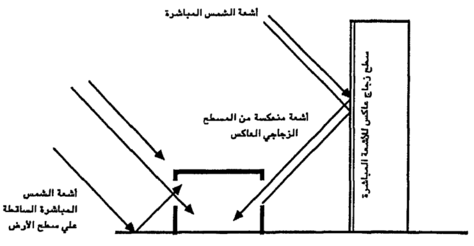
شكل رقم (٢ , ٤). التظليل بواسطة الأشجار وتصميم المبنى.

إنّ التطور الهائل في صناعة الزجاج أدى إلى ظهور أنواع كثيرة مختلفة الخصائص (راجع الفصل الثالث). لا شك أنّ الزجاج العاكس لأشعة الشمس له بعض الفعالية في تخفيض الحرارة الناتجة من أشعة الشمس المباشرة والساقطة علي المبنى، ولكنه لا يخلو من السلبيات (صورة رقم ٣ , ٤). فعلى سبيل المثال لا الحصر إنّ الأشعة المنعكسة بواسطة الزجاج العاكس من مبنى قد تسقط علي مبنى مجاور وتتسبب في زيادة الحَمْل الحراري عليه (شكل رقم ٣ , ٤). إنّ نوع وحجم وموقع كاسرات الشمس يعتمد على مفعول أشعة الشمس المباشرة، والمنعكسة، والمنتشرة. ويمكن التحكم في مفعول الأشعة المنعكسة إلى حد ما من خلال التحكم في معامل الانعكاسية للأسطح المواجهة للنافذة. يعد استعمال الأشجار والنباتات المتسلقة والحشائش من الوسائل الفعّالة للحد من مفعول الأشعة المنعكسة.



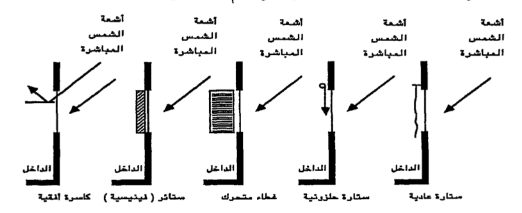
توضح الصورة الواجهة الجنوبية الشرقية لمبنى مركز الراشد التجاري. عندما تسقط أشعة الشمس المباشرة على هذه الواجهة يتم عكس جزء منها على المبنى المقابل، فيكون مفعولها إيجابيا في فصل الشتاء وسلبيا في فصل الصيف.

صورة رقم (٣ , ٤). مبنى الراشد التجاري بشارع الضباب، الرياض.



شكل رقم (٣ , ٤). مفعول الزجاج العاكس على المباني المجاورة.

إن المساحة الشاسعة التي تأتي منها الأشعة المنتشرة يجعل التحكم فيها أمر بالغ الصعوبة، ولكن يمكن التقليل من مفعولها بواسطة الكاسرات والستائر الداخلية أو تلك التي توضع داخل الفراغ الخاص بالزجاج المزدوج (شكل رقم ٤ , ٤). أمّا التحكم في مفعول الأشعة المباشرة يتأتى بفعالية كبيرة بواسطة كاسرات الشمس الخارجية (الصور من رقم ٤ , ٤ إلى ٤ , ٨). إنّ كاسرة الشمس المثالية يجب أن توفر الحماية المطلوبة من أشعة الشمس المباشرة دون حجب الرؤية، أو التقليل من فعّالية التهوية الطبيعية. يعطي الجدول رقم (١ , ٤) نماذج مختلفة من كاسرات الشمس الثابتة وخصائصها (الصور من رقم ٤ , ٩ إلى ٤ , ١٥).



شكل رقم (٤ , ٤). كاسرات الشمس الداخلية.

المصدر: Norbert (1991), p. 169

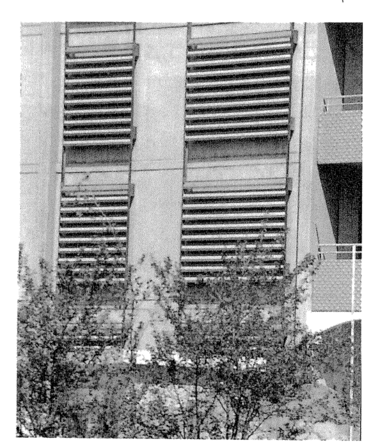
جدول رقم (١ , ٤). كاسرات الشمس الثابتة وخصائصها.

شكل الكاسرة	وصف الكاسرة	التوجيه المفضل	خصائص الكاسرة
	كاسرة أفقية	الجنوبية الشرقية الغربية	تحجز الهواء الحار وتتراكم عليها الأتربة والشوائب والجليد.
	كاسرة أفقية مكونة من الزعانف.	الجنوبية الشرقية الغربية	حرية حركة الهواء، تراكم قليل للأتربة والجليد.
	كاسرة عمودية من الزعانف	الجنوبية الشرقية الغربية	تساعد في تخفيض الطول الأفقي للكاسرة الأفقية. كما أنها تؤثر على مستوى الرؤية.
	كاسرة عمودية	الجنوبية الشرقية الغربية	حركة في حركة الهواء. لا وجود للأتربة والجليد. تحجب الرؤية.
	زعانفعمودية	الشرقية الغربية الشمالية	تحجب الرؤية فعالة في تظليل الواجهة الشمالية.
	زعانف مائلة	الشرقية الغربية	تميل نحو الشمال وتحجب الرؤية.

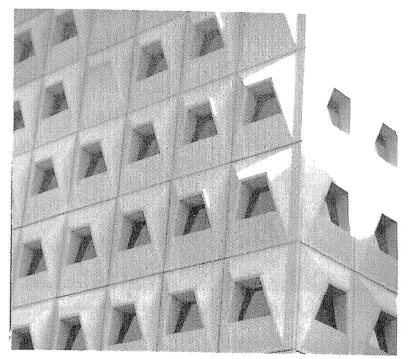
المصدر: Norbert (1991). p. 140



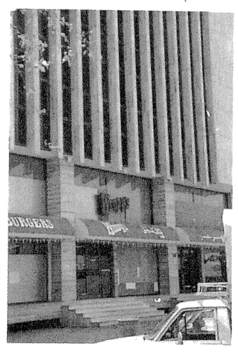
صورة رقم (٤ , ٤). فندق الخزامى، العليا ـ الرياض.



صورة رقم (٤ , ٥). مجمع سكني، شارع العليا العام ـ الرياض.



صورة رقم (٦ , ٤). كاسرات الشمس المزدوجة.



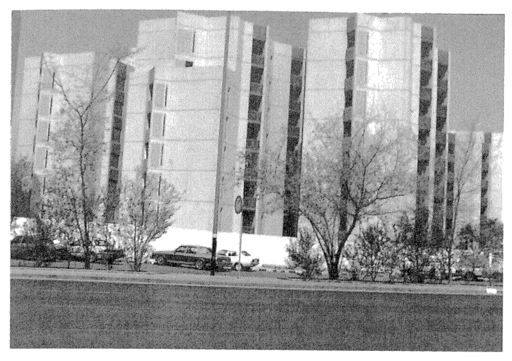
صورة رقم (٧ , ٤). كاسرات الشمس العمودية.



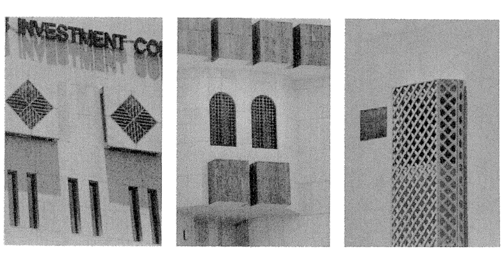
صورة رقم (٨ , ٤). كاسرات الشمس المزدوجة لتظليل الفتحات على الواجهة الغربية.



صورة رقم (٩ , ٤). المركز الترفيهي جامعة الملك سعود ـ الرياض.



صورة رقم (١٠ , ٤). مجمع التأمينات، العليا ـ الرياض.

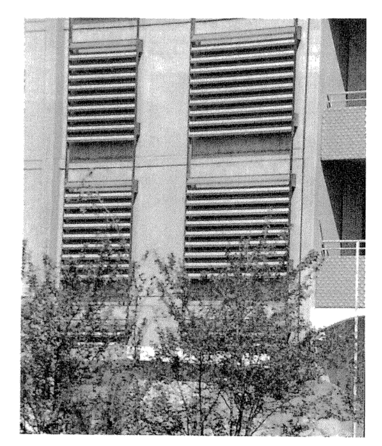


صورة رقم (١١ , ٤) صورة رقم (١٢ , ٤) صورة رقم (١٣ , ٤)

صور أرقام (١١ , ٤ ،١٢ , ٤ و١٣ , ٤). نماذج لتظليل الفتحات بواسطة المشربيات.



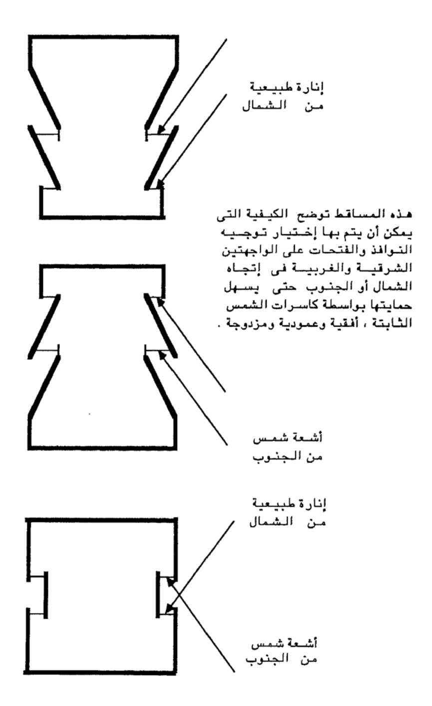
صورة رقم (٤ , ٤). فندق الخزامى، العليا ـ الرياض.



صورة رقم (٥ , ٤). مجمع سكني، شارع العليا العام ـ الرياض.

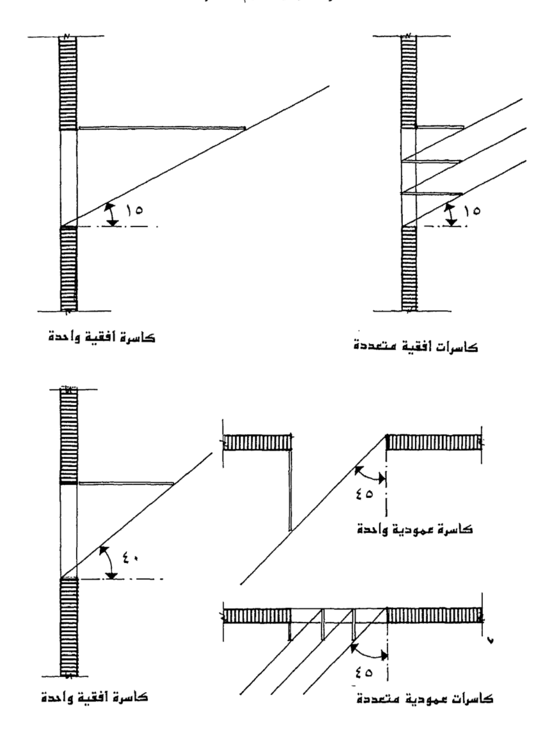
إنّ الكاسرة الأفقية فعّالة جدا عندما تُستعمل لتظليل نافذة على الواجهة الجنوبية خلال فصل الصيف، وذلك لأنّ زاوية ارتفاع الشمس تكون كبيرة في هذه الفترة، في حين أنّ فعاليتها تكون محدودة عندما تُستعمل لتظليل نافذة على الواجهة الشرقية، أو الجنوبية الشرقية، أو الجنوبية الغربية، أو الغربية.

أمّا الكاسرة العمودية تكون فعّالة جدا عندما تُستعمل لتظليل نافذة على الواجهة الشمالية. هنالك صعوبة كبيرة في تظليل النوافذ التي توجد على الواجهتين الشرقية والغربية، وذلك لأنّ زاوية ارتفاع الشمس تكون صغيرة جدا في الصباح الباكر على الواجهة الشرقية، وقبل غروب الشمس على الواجهة الغربية. لا شك في أنّ الحل الأمثل في هذه الحالة يكمن في تفادي عمل فتحات على هاتين الواجهتين. أمّا إذا كانت هنالك ضرورة ملحة لذلك فإن الحل يكون بتوجيه النافذة قدر المستطاع نحو الشمال أو الجنوب (شكل رقم ٥ ,٤). وفي حالة تعذر اللجوء إلى الحل الأخير يمكن استعمال الكاسرات الأفقية والعمودية معا، والتي قد تؤدي إلي حجب الرؤية. وبما أنّ الهدف الأساسي من كاسرات الشمس هو منع أشعة الشمس المباشرة من النفاذ إلى الفراغ الداخلي أثناء الفترة الحارة، فإنّ استعمال عدة وحدات من الكاسرات الصغيرة تؤدي المفعول نفسه الذي تؤديه كاسرة واحدة كبيرة (شكل رقم ٦ ,٤). إنّ السبب الرئيسي في انتشار كاسرات الشمس الثابتة يكمن في كونها بسيطة في شكلها، وتركيبها، وقليلة التكلفة والصيانة مقارنة بالكاسرات المتحركة. لا شك أنّ كاسرات الشمس المتحركة أكثر فعّالية من كاسرات الشمس الثابتة، خاصة عندما يكون المطلوب هو تظليل النافذة خلال الفترة الحارة، والسماح لأشعة الشمس بالنفاذ إلى داخل الفراغ خلال الفترة الباردة للمساعدة في التدفئة. يوضح (الشكل رقم ٧ ,٤أ، ب) نماذج مختلفة من كاسرات الشمس. عندما يتم تصميم كاسرات الشمس بناء على إحدى الزاويتين الأفقية أو العمودية، فإن حدود الظل يجب أن تصطدم بحافة النافذة.



شكل رقم (٥ , ٤). توجيه الفتحات على الواجهتين الشرقية والغربية.

المصدر: Norbert (1991). p. 141



شكل رقم (٦ ,٤). تصميم الكاسرات الأفقية والعمودية.

خصائص الكاسرة	رسم توضيحي للكاسرة		نمط التظليل
الكاسرة الأفقية فعالة جدا على الواجهة الجنوبية.			
إن كاسرات الشمس المتوازية والتي على شكل زعانف louvers تساعد في حركة الهواء حولها.			
إن كاسرات الشمس الأفقية المصنوعة من القماش المتين لها نفس فعالية الكاسرة الأفقية ولكنها مرنة.			
عندما تكون زاوية ارتفاع الشمس منخفضة جدا يمكن استعمال كاسرات على شكل زعانف يتم تعليقها من الكاسرة الأفقية.			
عندما تكون الكاسرة عمودية ومتوازية مع الحائط فإنها تحمي النافذة من أشعة الشمس عندما تكون زاوية ارتفاعها منخفضة.			
كاسرات الشمس الأفقية المتحركة والتي تكون على شكل زعانف يتغير أداؤها نتيجة لاختلاف زاوية الميول.			

شكل رقم (٧ , ١٤أ). أمثلة من الكاسرات المختلفة.

المصدر: Olgyay and Olgyay (1963). p. 82

نمط التظليل	رسم توضيحي للكاسرة		خصائص الكاسرة
			إن كاسرات الشمس العمودية فعالة جدا على الواجهتين الشرقية والغربية ويكـون أداؤهـا متماثل تماما.
			إن كاسرات الشمس العمودية غير متعامـدة وغير ملتصقة مع الحائط يكون أداؤها غيـر متماثل وتمنع تدفق الحرارة بواسطة التوصيل
			كاسرات الشمس العمودية المتحركة والتـي تكون على شكل زعانف يمكن التحكم فيها حسب حركة الشمس.
			إن أداء كاسرة الشمس المزدوجة عبارة عـن أداء كاسرة أفقية وأخرى عمودية، وعندمـا تكون الكاسرة العمودية متعامدة مع الحائط يكون أداؤها متماثلا.
			إن أداء الكاسرة المزدوجة وغير المتعامدة مع الحائط يكون أداؤها غير متماثل.
			إن الكاسرات المزدوجة التي تحتـوي عـلـى كاسرات أفقية متحركة تكون فعالة في المناطق الحارة.

شكل رقم (٧ , ٤ب). أمثلة من الكاسرات المختلفة.

المصدر: Olgyay and Olgyay (1963). p. 83

هذا و تنقسم كاسرات الشمس إلى ثلاثة أقسام رئيسية وهي كالآتي:

(ا) كاسرات الشمس الأفقية ويتم تصميمها بناء على قيمة زاوية الظل العمودية.

(ب) كاسرات الشمس العمودية ويتم تصميمها بناء على قيمة زاوية الظل الأفقية.

(جـ) كاسرات الشمس المزدوجة ويتم تصميمها بناء على قيمة زوايتي الظل العمودية والأفقية معا.

إذا تم تصميم كاسرة الشمس لحماية النافذة من سقوط أشعة الشمس عليها في وقت محدد، فهي بالتأكيد سوف تقوم بحماية النافذة من أشعة الشمس في أوقات أخرى. إن أداء كاسرات الشمس خلال العام يمكن تحديدها بواسطة البيانيات الخاصة بمسار الشمس ومنقلة الظلال. إن الكاسرة الأفقية تتميّز بظلالها العمودية ويأخذ أداؤها شكل القوس القطاعي كما هو واضح في الشكل رقم(٨,٤). ويمكن تحديد القوس الموجود على منقلة الظلال بواسطة قيمة زاوية الظل العمودية (β_{sh}) على بياني مسار الشمس. وتتميز الكاسرة العمودية بظلالها الأفقية، ويتمثل أداؤها في قطاع أو قطاعين من الدائرة، والتي يمكن تحديدها بواسطة الخطوط الإشعاعية من مركز منقلة الظلال بواسطة الزاوية الأفقية (α_{sh}). أمّا الكاسرة المزدوجة فهي عبارة عن المفعول المشترك للكاسرة الأفقية والعمودية.

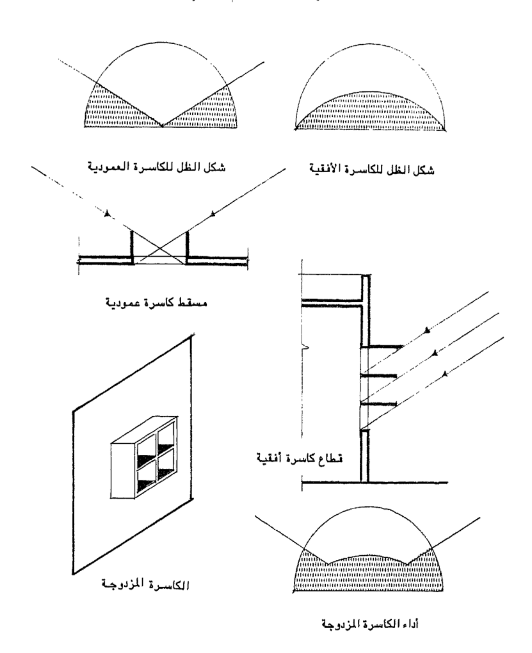
قبل تصميم كاسرات الشمس هناك بعض النقاط المهمة التي يجب دراستها والتحقق منها، وتشمل الآتي:

(ا) الاختيار المناسب لحجم وتوجيه النافذة بما يلائم حركة الشمس ومتطلبات التهوية الطبيعية والعناصر الأخرى كالخصوصية والضوضاء والرؤية. . .الخ.

(ب) تحديد الفترة الزمنية الحارة التي تستوجب عدم السماح لأشعة الشمس من النفاذ إلى الفراغات الداخلية.

(جـ) تحديد زوايا الشمس الأفقية والعمودية خلال الفترة الحارة.

(د) تحديد زوايا الظلال الأفقية والعمودية خلال الفترة الحارة.



شكل رقم (٨ ,٤). أداء الكاسرات الأفقية والعمودية والمزدوجة.

المصدر: Szokolay (1980). p. 318 and 319

(١ , ٢ , ٤) تحديد زوايا الشمس

خلال رحلة الشمس بين مدار السرطان شمالا ومدار الجدي جنوبا، تختلف زوايا سقوط الشمس العمودية بالنسبة لنقطة ما على سطح الأرض باختلاف الأيام خلال السنة. إذا كانت هذه النقطة تقع على مدار السرطان تكون الشمس عمودية عليها في يوم ٢٢ يونيه، أما في باقي أيام السنة تسقط أشعة الشمس عليها بزاوية مائلة تختلف باختلاف ترتيب اليوم خلال السنة، وتكون هذه الزاوية أقل ما يمكن في ٢٢ ديسمبر عندما تكون الشمس عمودية على مدار الجدي جنوبا. وبذلك يتم قياس الزاوية العمودية من الخط الأفقي وموقع خط ارتفاع الشمس فوق خط الأفق. أما الزاوية الأخرى لسقوط أشعة الشمس فهي الزاوية الأفقية أو زاوية الاتجاه والتي تختلف باختلاف الوقت خلال اليوم. والزاوية الأفقية هي الزاوية التي تقع بين موقع الشمس الأفقي في اتجاه الشرق أو الغرب من الجنوب كما هو واضح في الشكل رقم (٩ , ٤). ويمكن تحديد زوايا سقوط أشعة الشمس العمودية والأفقية لأية نقطة وفي أي وقت بالطرق التالية:

(ا) بواسطة المعادلات الرياضية.

(ب) بواسطة بيانيات مسار الشمس .

(ا) تحديد زوايا الشمس بواسطة المعادلات الرياضية

يمكن تحديد زوايا الشمس الأفقية والعمودية بواسطة ثلاث معادلات رياضية كالآتي (سعيد، ١٩٩١م):

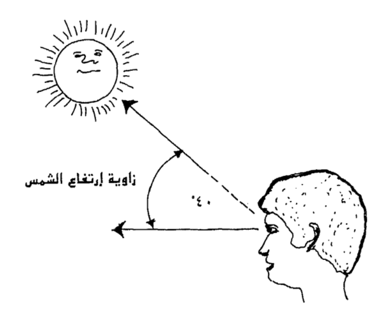
١ ـ المعادلة الأولي والتي تحدد زاوية الانحراف في محاور الأرض:

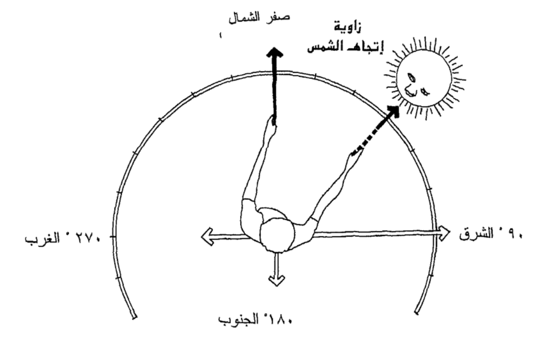
$$\theta = 23.45 \sin\left(360 \times \frac{284 + n}{365}\right) \qquad (٤ , ١)$$

$$\theta = 23.45 \ \sin \ [\ 0.986 \ (\qquad\qquad]$$

٢ ـ المعادلة الثانية لتحديد الزاوية العمودية أو زاوية الارتفاع:

$$\text{Sin.}\ \beta = \text{Sin}\ .\ \theta \ \times \text{Sin L} \times \text{Cos}\ \theta \times \text{Sin L} \times \ \text{Cos}\ \theta \qquad (٤ , ٢)$$





شكل رقم (٩ ، ٤). زوايا الشمس الأفقية والعمودية.

٣ ـ المعادلة الثالثة لتحديد الزاوية الأفقية أو زاوية الاتجاه:

$$\sin\alpha = \frac{\text{Cos}\alpha \times \text{Sin}\theta - \text{Cos}\theta \times \text{SinL} \times \text{Cost}}{\text{Cos}\beta} \qquad (٤,٣)$$

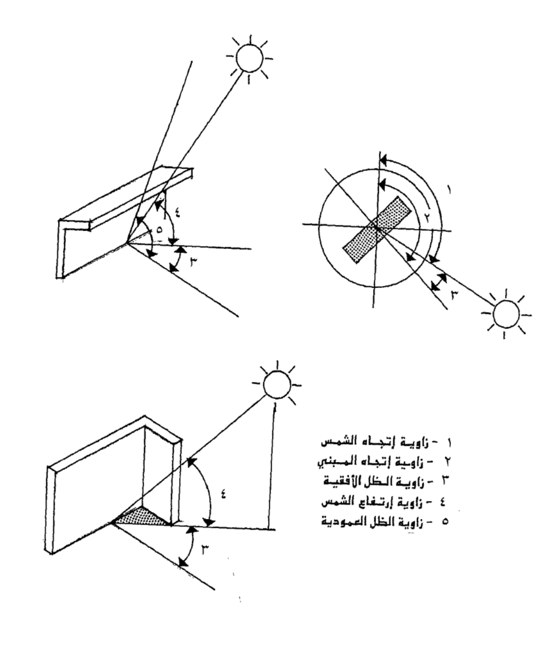
θ = زاوية الانحراف في محاور الأرض.
n = ترتيب اليوم بالنسبة للسنة ابتداء من أول يناير.
L = خط العرض عند نقطة الملاحظة.
t = الزاوية الزمنية وهي تساوي ١٥° لكل ساعة في اليوم وهي تبدأ من الصفر عند الساعة ١٢ ظهرا، وتكون بالموجب بعد الساعة ١٢ ظهرا وبالسالب قبل الساعة ١٢ ظهرا.
α = الزاوية الأفقية أو زاوية اتجاه الشمس من الشمال.
β = الزاوية العمودية أو زاوية ارتفاع الشمس من الأفق.

أما تحديد طول الظلال فهو يعتمد على وجود القيم المختلفة للزوايا الأفقية والزوايا العمودية بواسطة القياس الفعلي من محطات الأرصاد لكل ساعة من ساعات النهار ليوم يمثل كل شهر من شهور السنة. ويمكن حساب الظل لكل ساعة بواسطة المعادلة التالية:

$$\text{طول الظلال} = \frac{١}{\text{ظل الزاوية العمودية لسقوط الشمس}} \qquad (٤,٤)$$

وقد تمّ عمل دراسة قيمة ومفصلة بواسطة المعادلة المذكورة أعلاه لتحديد زوايا الظلال لدولة الإمارات العربية المتحدة (فرمان، ١٩٨٩م). ومن أجل تصميم كاسرات الشمس لابد من تحديد زاوية الظل الأفقية (α_{sh}) وزاوية الظل العمودية (β_{sh}). وتعتمد قيمة زوايا الظل الأفقية والعمودية على الزاوية الأفقية (α) والزاوية العمودية (β) لسقوط أشعة الشمس، وأيضا تعتمد على توجيه المبنى. ويمكن تحديد هذه الزوايا (الشكل رقم ٤,١٠)، بواسطة المعادلات التالية:

$$\alpha_{sh} = H - \alpha \qquad \tan\ \beta_{sh} = \frac{\tan\ \beta}{\cos\alpha_{sh}} \qquad (٤,٥)$$



شكل رقم (١٠ , ٤). زوايا الشمس وزوايا الظلال الأفقية والعمودية.

المصدر: Koenigsberger (1973). p. 112

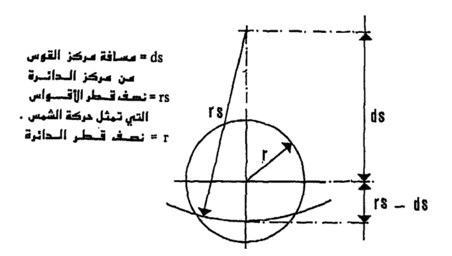
$$\tan \beta_{sh} = \tan \beta \times \cos^{-1} \alpha_{sh} \quad (٤,٦)$$

α_{sh} = زاوية الظل الأفقية.
H = الزاوية الأفقية التي تمثل اتجاه المبنى من الشمال.
α = الزاوية الأفقية لسقوط أشعة الشمس.
β_{sh} = زاوية الظل العمودية.
β = الزاوية العمودية لسقوط أشعة الشمس.
tan = ظل الزاوية.
cos = جيب تمام الزواية.
sin = جيب الزاوية.

(ب) بيانيات مسار الشمس

هنالك العديد من المراجع التي احتوت على عدد من البيانيات التي تمثل مسار الشمس solar charts لخطوط العرض المختلفة (Koenigsberger, 1973). وفي كثير من الحالات لايوجد البياني الخاص والذي يمثل مسار الشمس لموقع معين، وفي هذه الحالة غالبا ما يلجأ المصمم إلى أخذ البياني الموجود لأقرب خط عرض. ويكون بذلك قد قام بتقريب ثلاثة أشياء رئيسية هي خط العرض، والتاريخ، والزمن مما يؤثر على صحة قيمة الزوايا. ومن جهة أخرى فإن وضع البيانيات التي تمثل مسار الشمس لكل المواقع الموجودة في العالم يعد غير عملي وذلك لأن هذه المهمة تحتاج إلى جهد كبير وحيز ضخم لتسجيل هذه المعلومات. ولكل هذه الأسباب يُستحسن أن يقوم المصمم بوضع البياني الذي يمثل مسار الشمس للموقع الذي يصمم له. وهنالك طريقة سهلة ومبسطة لوضع البياني الخاص بمسار الشمس لأي موقع وذلك باتباع الخطوات التالية :

١ - يتم رسم دائرة بقطر (d) ويفضل أن يكون القطر في حدود ٣٠٠ مم، ونصف القطر (r) ١٥٠ مم، كما هو واضح على الشكل رقم (١١ , ٤). يُمدّ القطر الرأسي في الاتجاه الشمالي لتحديد موقع مراكز الأقواس التي تمثل حركة الشمس.



شكل رقم (١١ , ٤). طريقة رسم الأقواس التي تمثل مسار الشمس.

المصدر: Szokolay (1980). p 311

٢ - لكل قوس يمثل حركة الشمس في تاريخ معين يمكن حساب نصف القطر (rs) ومسافة مركز القوس من مركز الدائرة (ds) بواسطة المعادلات التالية :

$$rs = \frac{r \times \cos\theta}{\sin L \times \sin\theta} \qquad (٤ , ٧)$$

$$ds = \frac{r \times \cos L}{\sin L \times \sin\theta} \qquad (٤ , ٨)$$

حيث

L = خط العرض عند نقطة الملاحظة.

θ = زاوية الانحراف في محاور الأرض.

إن زاوية الانحراف في محاور الأرض تتباين على مدى أربع سنوات. وبواسطة المعادلة التي ورد ذكرها أعلاه فقد تم تحديد زوايا الانحراف (θ) لسبعة مسارات للشمس والتي تعتبر كافية لوضع البياني وهي (Szokolay, 1980) :

١ ـ ٢٢ يونيه ٢٣,٤٥°
٢ ـ ١٥ مايو و٣٠ يوليه ١٨,٧٠°
٣ ـ ١٥ أبريل و٣٠ أغسطس ٩,٣٨°
٤ ـ ٢١ مارس و٢٣ سبتمبر صفـــر
٥ ـ ١٥ أكتوبر و٢٨ فبراير - ٨,٢٣°
٦ ـ ١٥ نوفمبر و٢٨ يناير - ١٨,٣٣°
٧ ـ ٢٢ ديسمبر - ٢٣,٤٥°

وبعــد ذلك يــتم رسم خطوط مســار الشمــس. بالنسبة للأقواس التــي تمثــل خطــوط مســار الشمس خلال فصل الشتاء تكون هنالــك ضــرورة إلــى فرجار كبير.

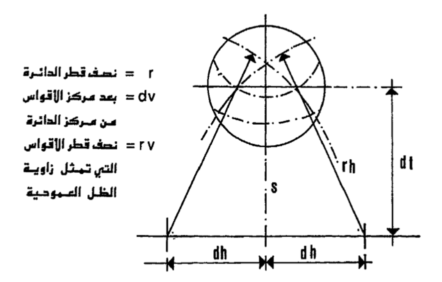
٣ ـ أما بالنسبة لرسم الخطوط التي تمثل الزمن فيجب تحديد المسافــة (dt) بواسطة المعادلة التالية:

$$dt = r \times \tan L \qquad (٤,٩)$$

ومــن ثــمَّ يتم رسم خط موازٍ للقطر الأفقي للدائرة الأساسيــة (E-W) الممتــد من الشــرق إلى الغــرب ويبعــد المســافــة (dt) من مركــز الدائــرة. وعــلى هــذا الخــط تقع مراكز كل الأقواس التي تمثل الزمن (الــشــكــل رقــم ٤,١٢). ويُمكــن تحــديد نصــف القطر (rh)، والمسافــة الأفقيــة لمركــز القــوس (dh)، من القطــر الــرأسي للدائــرة الأساسيـــة (N - S) بواسطــة المعــادلات التاليــة:

$$rh = \frac{r}{\cos L \times \sin(15H)} \qquad (٤,١٠)$$

$$dh = \frac{r}{\cos L \times \tan(15H)} \qquad (٤,١١)$$



شكل رقم (٤, ١٢). طريقة رسم الأقواس التي تمثل الزمن.
المصدر: Szokolay (1980). p. 311.

٤ ـ لكل قوس يمثل حركة الشمس في تاريخ معين يمكن حساب نصف القطر (rs) ومسافة مركز القوس من مركز الدائرة (ds) بواسطة المعادلات التالية:

$$rs = \frac{r \times \cos\theta}{\sin L \times \sin\theta} \quad (٤, ١٢)$$

$$ds = \frac{r \times \cos L}{\sin L \times \sin\theta} \quad (٤, ١٣)$$

حيث

rh = نصف القطر للقوس الذي يمثل مسار الشمس لتاريخ معين.
r = نصف قطر الدائرة الأساسية.
dh = بُعد مركز القوس من مركز الدائرة.
L = خط العرض عند نقطة المشاهدة.
H = عدد الساعات.

ويتم رسم الأقواس من الناحية اليمنى للفترة بعد الظهر، والأقواس من الناحية

اليسرى للفترة الصباحية أي قبل الظهر. وللتحقق من صحة الرسم يكون التقاطع لكل من الساعة السادسة صباحا والساعة السادسة مساء مع خط مسار الشمس للاعتدالين في النقطة نفسها شرقا وغربا على التوالي.

٥ ـ وبعد ذلك يتم رسم خطوط إشعاعية من مركز الدائرة وبزيادات متساوية من صفر إلى ٣٦٠° لتقاطع محيط الدائرة، وذلك لتحديد الزوايا الأفقية أو زوايا اتجاه أشعة الشمس. أما بالنسبة للزوايا العمودية أو زوايا ارتفاع الشمس، فيتم تحديدها بواسطة رسم مجموعة من الدوائر المتحدة المركز والتي يتم تحديد نصف قطرها (r_β) لكل زاوية ارتفاع (β) بواسطة المعادلة التالية:

$$r_\beta = r\frac{\cos\beta}{1+\sin\beta} \qquad (٤,١٤)$$

حيث

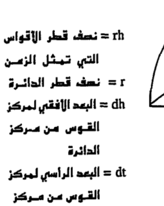
r_β = نصف قطر الدائرة التي تمثل زوايا ارتفاع الشمس.

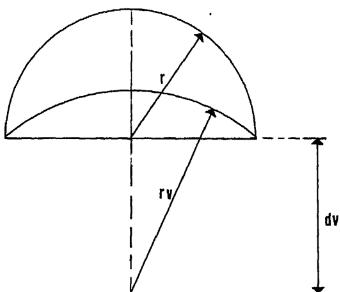
β = زاوية ارتفاع الشمس.

إن الخطوط الإشعاعية التي تمثل الزوايا الأفقية والدوائر التي تمثل الزوايا العمودية يمكن رسمها على سطح شفاف في شكل منقلة وذلك لتفادي الخلط مع الخطوط التي تمثل مسارات الشمس. يمكن استعمال البياني الخاص بمسار الشمس والمذكور أعلاه عندما يكون توجيه المبنى شمال جنوب، أي أن محاور المبنى تتطابق تماما مع محاور البياني الشمسي. أما في حالة وجود انحراف للمبنى وعدم تطابق محاوره مع محاور البياني الشمسي تكون هنالك ضرورة لاستعمال منقلة الظلال والتي يمكن تصميمها باتباع الخطوات التالية:

(ا) يتم رسم نصف دائرة بنفس مقدار نصف القطر للدائرة الأساسية والخاصة بمخطط مسار الشمس مع رسم القطر الأفقي والقطر الرأسي لنصف الدائرة كما هو واضح في الشكل رقم (٤,١٣).

(ب) ويتم تحديد نقطة الصفر وهي النقطة التي يتقاطع فيها الخط الرأسي مع محيط الدائرة، ومن مركز الدائرة يتم رسم الخطوط الإشعاعية إلى محيط الدائرة يمينا من صفر إلى +٩٠° ويسارا من صفر إلى -٩٠° وهذه الخطوط تمثل زوايا الظل الأفقية.





شكل رقم (١٣ ,٤). طريقة رسم منقلة الظلال.

المصدر: Szokolay (1980). p. 314

(جـ) إن امتداد القطر الرأسي إلى أسفل يحدد مواقع مراكز الدوائر لكل الأقواس التي تمثل الزوايا العمودية.

ويتم تحديد نصف القطر ومسافة مراكز الأقواس من مركز نصف الدائرة (rv) بواسطة المعادلات التالية:

$$rv = \frac{r}{\cos \beta_{sh}} \qquad (٤,١٥)$$

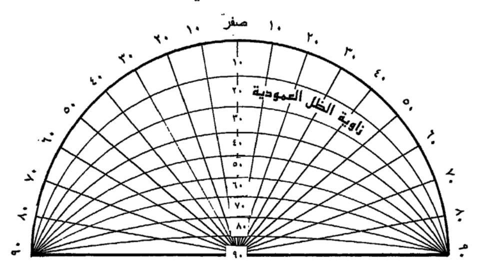
$$dv = r \times \tan \beta_{sh} \qquad (٤,١٦)$$

حيث

β_{sh} = زاوية الظل العمودية.

وبعد ذلك يتم رسم الأقواس التي تحُدد زوايا الظل العمودية كما هو واضح في الشكل رقم (١٤ ,٤). وبالتالي يكون بياني منقلة الظلال قد اكتمل.

ويتم تحويل هذا البياني إلى سطح مـادة شفافة حتى يسهل استعمالها مع المخطط الخاص ببياني مسار الشمس. منقلة الظلال عبارة عن نصف دائرة بنفس قـطـر الدائرة الخارجية للمخطط الذي يمثل بياني مسار الشمس، تحتوي على تسـعـة أقواس تمثل زوايا الشمس العمودية. القوس الخارجي يمثل زاوية الصفر، ومركز الدائرة يمثل الزاوية ٩٠°. أمّا الزوايـا الأفقيـة فقـد تمّ تمثيلها بواسـطة أنصـاف الأقـطار التي تقاطع القوس الخارجي. تمثل نقطة تقاطع نصف القطر العمودي مع القوس الخارجي زاوية الصفر وتزداد هـذه الزاوية باتجاه اليمين واليسـار حتـى تصل إلى ٩٠°.

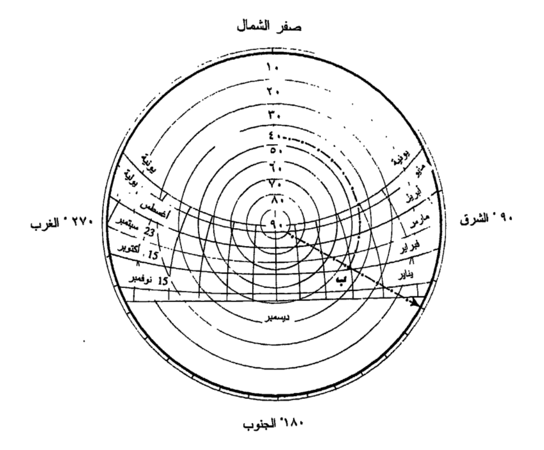


شكل رقم (٤,١٤). منقلة الظلال.

المصدر: Szokolay (1980). p. 314

ولتحديد زوايا الشمس الأفقية والعمودية لأي وقت يمكن اتباع الخطـوات التالية (الشكل رقم ٤,١٥):

١ ـ يتم تحديد النقطة (ب) على مسار الشمس الخاص بخط العرض عنـد تقاطع القوس الذي يمثل الشهر والقوس الذي يمثل الزمن.



شكل رقم (١٥ , ٤). تحديد زوايا الشمس.

٢ ـ يتم وضع منقلة الظلال الشفافة على بياني مسار الشمس مع التأكد من تطابق مركز البياني مع مركز المنقلة مع وضع قاعدة المنقلة لتماثل اتجاه المبنى.

٣ ـ الخط الإشعاعي المتفرع من مركز المنقلة والذي يمر بالنقطة (ب) يقاطع محيط المنقلة ليحدد قيمة زاوية الظل الأفقية.

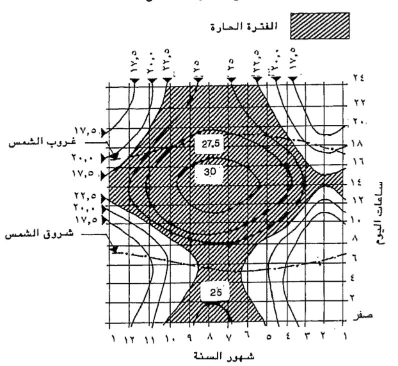
٤ ـ أما الخط المقوس الموجود في منقلة الظلال والذي يمر بالنقطة (ب) الموضحة على بياني مسار الشمس يحدد زاوية الظل العمودية .

(٢ , ٢ , ٤) تحديد الفترة الحارة

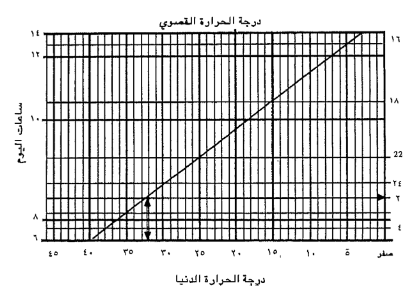
إن أساس تصميم كاسرات الشمس يعتمد على تحديد الفترة الحارة over heated period والتي يمكن تعريفها بأنها الفترة الزمنية التي تستوجب الحماية الكاملة للفتحات من أشعة الشمس، وبالتالي منع أشعة الشمس من النفاذ إلى الفراغ الداخلي. والمعيار الأساسي لتحديد الفترة الحارة هو المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية للإنسان (Koenigsberger, 1973). عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي مساوية أو أعلى من المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية، يجب في هذه الحالة تظليل النوافذ والفتحات تظليلا كاملا، والتأكد من عدم نفاذ أشعة الشمس إلى داخل المبنى. في بعض المناطق ذات المناخ الحار الرطب والمناطق ذات المناخ الحار الجاف قد تمثل الفترة الحارة معظم أو كل أيام السنة. قد تنخفض درجة حرارة الهواء أثناء الليل في هذه المناطق إلى معدلات أقل من المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية، وبما أنه لاتوجد أشعة شمس في الليل فإن هذا الوقت يكون خارج الفترة الحرجة.

أما في المناطق الباردة فإن درجة حرارة الهواء الخارجي غالبا ما تكون أقل من المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية مما يستوجب الاستعانة بأشعة الشمس لتدفئة الفراغ الداخلي، وبالتالي لا تكون هنالك ضرورة لتظليل الفتحات، بل قد يكون دخول أشعة الشمس غاية يسعى إليها المصمم. أما بالنسبة لبعض المناطق ذات المناخ المعتدل فإن معدلات درجة حرارة الهواء الخارجي في منتصف الصيف قد تكون أعلى من المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية وبالتالي تكون هنالك ضرورة ملحة للتظليل الكامل. وفي فصل الشتاء قد تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أقل بكثير من المعدل الحراري الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية، وفي هذه الحالة يكون دخول أشعة الشمس إلى الفراغ الداخلي مفيدا جدا من أجل التدفئة. أما في فصليّ الربيع والخريف فقد يكون المطلوب التظليل الجزئي للنوافذ والفتحات، وذلك بالسماح لأشعة الشمس بالنفاذ إلي الفراغات الداخلية أثناء الصباح الباكر، وبعد العصر وحجبها في وقت الظهيرة حينما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي مرتفعة جدا. إن الطريقة

المثالية والتي يمكن الاعتماد عليها في تحديد الفترة الحارة هي بواسطة رسم الخطوط الكنتورية لدرجات الحرارة المتساوية على البياني الذي يمثل الإحداثي الرأسي له خلال ساعات اليوم والإحداثي الأفقي له خلال شهور السنة. ويتم على هذا البياني تحديد النقاط التي تمثل متوسط درجات الحرارة لكل شهر وبالتالي يمكن رسم الخطوط الكنتورية التي تمثل متوسط درجات الحرارة المتساوية كما هو واضح في الشكل رقم (٤,١٦)، (سعيد، ١٩٩١م). وفي حالة تعذر الحصول على متوسط درجات الحرارة لساعات اليوم يمكن الافتراض أن المعدل الشهري لدرجات الحرارة القصوى تمثل أعلى درجة حرارة أثناء اليوم، والتي غالبا ما يتم رصدها مابين الساعة ١٤,٠٠ والساعة ١٥,٠٠ بعد الظهر، في حين أن المعدل الشهري لدرجات الحرارة الدنيا تمثل أدنى درجة حرارة أثناء اليوم، والتي غالبا ما يتم رصدها مابين الساعة ٥,٠٠ والساعة ٦,٠٠ صباحا. وعلى افتراض أن التباين في درجات الحرارة أثناء اليوم يحدث في شكل تباين جيبيّ sinusoidal بين الحد الأعلى والحد الأدنى فإنه يمكن تحديد درجات الحرارة اليومية بالتقريب بواسطة البياني الموضح في الشكل رقم (٤,١٧). ومن الاعتبارات المهمة جدا والتي لابد من ذكرها هنا الاختلاف بين التوقيت المحلي، والذي عادة ما تستعمله الجهات الحكومية التي تقوم برصد البيانات المناخية، والتوقيت الشمسي الذي هو الأساس في وضع البيانيات الخاصة بمسار الشمس. يتم تحديد النقطة التي تمثل متوسط درجة الحرارة الدنيا اليومية على الخط الأفقي السفلي، وتحديد النقطة التي تمثل متوسط درجة الحرارة القصوى اليومية على الخط الأفقي العلوي على البياني في الشكل رقم (٤,١٧) ومن ثمّ يتم توصيل النقطة على الخط العلوي بالنقطة على الخط السفلي. ومن نقاط التقاطع بين الخط المستقيم والخطوط الأفقية التي تمثل ساعات اليوم، يتم عمل إسقاطات عمودية إلى أعلى أو إلى أسفل لتحديد درجات الحرارة لكل ساعة من ساعات اليوم. و بعد ذلك يتم تحديد الخطوط الزمنية التي تمثل شروق الشمس وغروبها، وخطوط درجات الحرارة التي تمثل الحد الأدنى لمتطلبات الراحة الحرارية على بياني درجات الحرارة المتساوية (الشكل رقم ٤,١٦). وبالتالي فإن الفترة الحارة، والتي



شكل رقم (١٦ , ٤). الخطوط الكنتورية لدرجات الحرارة المتساوية لمدينة الرياض.
المصدر: سعيد (١٩٩١). ص ٢٠.



شكل رقم (١٧ , ٤). بياني حساب درجات الحرارة خلال ساعات اليوم.
المصدر: Koenigsberger (1973). p. 62

تتطلب منع أشعة الشمس من النفاذ إلى الفراغات الداخلية، هي تلك المساحة المحصورة بين خطوط درجات الحرارة المتساوية والتي تمثل الحد الأدنى لمتطلبات الراحة الحرارية وخطوط الزمن التي تمثل شروق الشمس وغروبها. عند تحديد منطقة الراحة الحرارية يجب أن تؤخذ في الاعتبار كل العناصر التي تؤثر على إحساس الإنسان بالمناخ المحيط، ومن هذا المنطلق يمكن الاعتماد على معيار درجة الحرارة الفعّالة المصححة واستعمالها كأساس لتحديد الفترة الحارة ولرسم الخطوط الكنتورية التي تمثل درجات الحرارة المتساوية. أما في حالة استعمال درجة الحرارة الجافة، فيمكن تحديد المعدل الذي يمثل الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية من الجدول رقم (٢ , ٤).

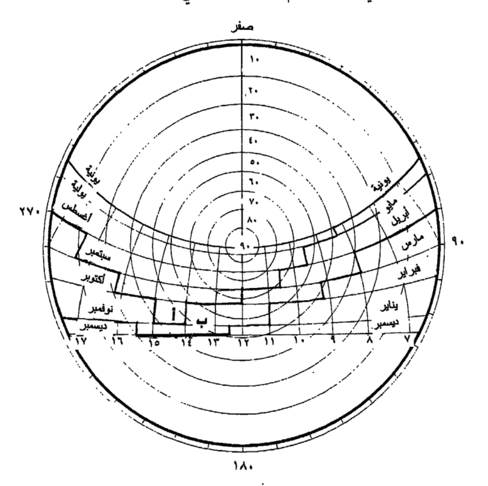
الجدول رقم (٢ , ٤). الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية

متوسط الرطوبة النسبية	المعدل السنوي لمتوسط درجات الحرارة		
	>٢٠°	١٥-٢٠°	<١٥°
<٣٠٪	٢٦	٢٣	٢١
٣٠-٥٠٪	٢٥	٢٢	٢٠
٥٠-٧٠٪	٢٣	٢١	١٩
>٧٠٪	٢٢	٢٠	١٨

المصدر: Szokolay (1980). p. 320

بعد ذلك يمكن نقل هذه البيانات إلى بياني مسار الشمس، والذي يمثل بياني آخر معتمد على ساعات اليوم وشهور السنة والاختلاف الوحيد بينهما هو أن إحداثيات البياني الخاص بمسار الشمس عبارة عن منحنيات وليست خطوطا مستقيمة. ولكن هناك مشكلة أساسية بالنسبة للبيانيات الخاصة بمسار الشمس إذ أن معظم خطوط مسارات الشمس تمثل يومين لشهرين مختلفين أثناء السنة. وبالتالي فإن تحويل المعلومات التي توافرت من البياني الأول في الشكل رقم (١٦ , ٤) إلى البياني الذي يمثل مسار الشمس الموضح في الشكل رقم (١٨ , ٤) سوف يعطي خطين مختلفين، الخط الأول يمثل الفترة من ديسمبر إلى مايو، والخط الثاني يمثل الفترة من يونيه إلى فبراير. وبما أن درجات الحرارة خلال هاتين الفترتين غالبا ما

تكون مختلفة تماما، فإن الخطين الكنتوريين اللذين يمثلاهما لا يتطابقان. وبالتالي نحصل على تعريفين للفترة الحارة ، التعريف الأول ويحدده الخط (أ) والذي يمثل الفترة من يونية إلى نوفمبر، والتعريف الثاني ويحدده الخـط (ب) والذي يمثل الفترة من ديسمبر إلى مايو. ويمكن للمصمم في هذه الحالة اللجوء إلى كاسرات الشمس المتحركة والتي يمكن التحكم فيها حسب متطلبات كل فترة. أما في حالة استعمال كاسرات الشمس الثابتة، فيجب على المصمم دراسة البيانات المناخـيـة وتحليلها، ومن ثمّ التوصل إلى الحل الأمثل. وكمثال لذلك يمكن تحليل البيانات المناخية الموضحة في الشكل رقم (١٨ , ٤) كالآتي:



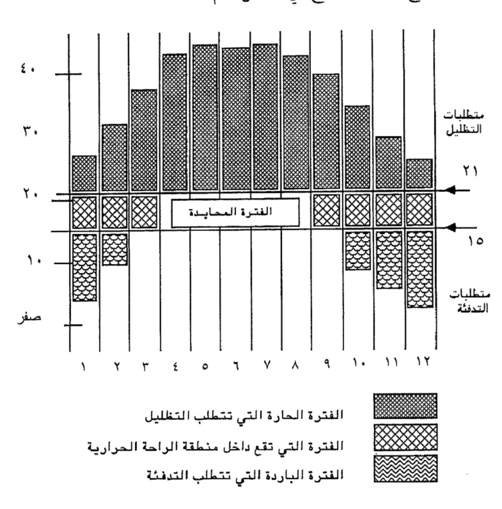
شكل رقم (١٨ , ٤). متطلبات التظليل.

المصدر: سعيد (١٩٩١). ص ٢٠.

في يوم ٢٣ سبتمبر تكون هنالك ضرورة للتظليل للفترة من الساعة ٨,٠٠ صباحا إلى وقت الغروب، وفي يوم ٢١ مارس، عندما تأخذ حركة الشمس نفس المسار، يكون التظليل ضروريا للفترة من الساعة ١٠,٠٠ صباحا إلى الساعة ١٧,٣٠ بعد العصر. وبذلك يكون هنالك تضارب في متطلبات التظليل خلال الفترتين من الساعة ٨,٠٠ إلى الساعة ١٠,٠٠ صباحا ومن الساعة ١٧,٣٠ بعد العصر إلى وقت الغروب. وعليه يكون من واجب المهندس المعماري عمل تحليل وتقويم دقيق من أجل الوصول إلى الحل الأمثل. يجب تحديد أيّ البديلين أخف ضررا بالنسبة للراحة الحرارية للإنسان، هل هو البديل الأول والذي يتمثل في السماح لأشعة الشمس بالنفاذ إلى داخل الفراغ في شهر سبتمبر، على الرغم من أنه غير مرغوب فيها وقد يسبب عدم الراحة الحرارية نتيجة للحرارة الإضافية، أم البديل الثاني والذي يتمثل في حجب أشعة الشمس خلال شهر مارس ومنعها من النفاذ إلى داخل الفراغ على الرغم من أنه مرغوب فيها من أجل تدفئة الفراغ الداخلي.

وهناك طريقة أخرى مختصرة ومبسطة يمكن استعمالها لتحديد الفترة الحارة والباردة والمعتدلة وهي تعتمد على قيمة درجة الاتزان الحراري للمبنى balance point temperature (BPT). إنّ قيمة درجة الاتزان الحراري للمبنى تعتمد على نوعية وحجم المبنى ونسبة مساحة غلافه الخارجي إلى حجمه الكلي. بشكل عام يمكن تقسيم المباني إلى قسمين؛ القسم الأول يشتمل علي المباني البسيطة والتي تتكون من طابق واحد وعدد محدود من الفراغات الداخلية. في هذه الحالة تكون نسبة مساحة الغلاف الخارجي إلى الحجم الكلي للمبنى كبيرة جدا، وبالتالي فإنّ مفعول المناخ الخارجي علي المناخ الداخلي يكون واضحا. والقسم الثاني يشتمل على المباني الكبيرة والتي تتكون من عدة طوابق وتحتوي على العديد من الفراغات الداخلية. تكون في هذه الحالة نسبة مساحة الغلاف الخارجي إلى حجم المبنى صغيرة جدا، وبالتالي فإنّ مفعول المناخ الخارجي على المناخ الداخلي يكون محدودا. إنّ درجة الاتزان الحراري للقسم الأول من المباني حوالي ١٥,٥ °م، وبالنسبة للقسم الثاني من المباني حوالي ١٠ °م (Norbert, 1991). في هذه الحالة تكون التدفئة ضرورية للقسم الأول من المباني عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أقل من ١٥,٥ °م، وضرورية بالنسبة للقسم الثاني من المباني عندما تكون

درجة حرارة الهواء الخارجي أقل من ١٠ °م. وبما أنّ الفرق بين الحد الأدنى والحد الأعلى للراحة الحرارية يتراوح من ٥ إلى ٦ °م، فإنّ الحماية من أشعة الشمس المباشرة (التظليل) تكون ضرورية بالنسبة للقسم الأول من المباني عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أعلى من ٢١ °م (١٥,٥ + ٥,٥)، وبالنسبة للمباني من القسم الثاني تكون الحماية من أشعة الشمس ضرورية عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أعلي من ١٥,٥ درجة مئوية (١٠,٠ + ٥,٥). و من أجل إعطاء مثال مبسط فقد تمّ استعمال هذه الطريقة لتحليل مناخ الرياض وتمّ تلخيص النتائج كما هو واضح في الشكل رقم (٤,١٩).



شكل رقم (٤,١٩). تحديد الفترات الحارة، والباردة، والمعتدلة لمدينة الرياض.

(٤,٢,٣) متطلبات التظليل لمدينة الرياض

إن من أهم المتطلبات التي يجب أن تكون من ضمن أساسيات التصميم المناخي للمناطق الحارة هي حماية المبنى عامة والفتحات خاصة من أشعة الشمس المباشرة خلال الفترة الحارة. وللوصول إلى أفضل البدائل المتاحة لحماية المبنى من أشعة الشمس لابد من دراسة مسار الشمس وتحديد زوايا الظلال. لقد تم تصميم بياني مسار الشمس الخاص بمدينة الرياض بناء على الطريقة التي ورد ذكرها في هذا الباب. ويمكن تلخيص الخطوات التي تم اتباعها كالآتي:

(ا) تم تحديد نصف القطر للدائرة الأساسية (r) = ١٥٠مم.

(ب) خط العرض لمدينة الرياض (L) = ٢٤° و٤٢´

إذن Cos L = ٠,٩٠٨٥ و Sin L = ٠,٤١٧٩

وعلى ضوء ذلك تم حساب نصف القطر لكل الأقواس التي تمثل مسار الشمس (rs) في الشهور المختلفة وبُعد مركزها (ds) من مركز الدائرة الأساسية بواسطة المعادلات التي سبق ذكرها وتم توضيح ملخصها في الجدول رقم (٤,٣).

(جـ) وبواسطة المعادلة السابقة تم حساب المسافة (dt) وهي بُعد الخط الذي يقع عليه مراكز الأقواس التي تمثل الزمن من مركز الدائرة الأساسية.

خط العرض عند نقطة المشاهدة ٢٤° و ٤٢´ = ٢٤,٧°

tan L = ٠,٤٥٩٩ و cos L = ٠,٩٠٨٥

إذن dt = ١٥٠ × ٠,٤٥٩٩ = ٦٨,٩٩

وبواسطة المعادلتين التاليتين تمّ تحديد نصف القطر (rh) لكل قوس وبُعد مركزه (dh) من القطر الرأسي للدائرة الأساسية وتم رصدها في الجدول رقم (٤,٣).

$$rh = \frac{r}{\text{Cos}L \times \text{Sin}(15H)} \qquad (٤,١٧)$$

$$dh = \frac{r}{\text{Cos}L \times \tan(15H)} \qquad (٤,١٨)$$

حيث

rh = نصف قطر القوس الذي يمثل مسار الشمس لتاريخ معين.

r = نصف قطر الدائرة الأساسية.

dh = بُعد مركز القوس من مركز الدائرة.

L = خط العرض عند نقطة المشاهدة.

H = عدد الساعات.

أما البيانات الأساسية والتي تم بموجبها تحديد نصف القطر (rh) فقد تمّ رصدها في الجدول رقم (٤ , ٤). أما بالنسبة للدوائر التي تمثل الزوايا العمودية فقد تم حساب نصف قطرها r_β كالآتي :

$$r_\beta = r\frac{r \times \text{Cos}\beta}{1 + \text{Sin}\beta} \qquad (٤ , ١٩)$$

جدول رقم (٣ , ٤). نصف القطر وبُعد مركز الأقواس.

التاريخ (L)	الميل الزاوي	Cos L	Sin L	(rs) cm	(ds) cm
٢٢ يونية	٢٣,٤٥°	٠,٩١٧٤	٠,٣٩٧٩	١٦٩,٠	١٦٧,٠
١٥مايو و٣٠ يولية	١٨,٧٠°	٠,٩٤٧٢	٠,٣٢٠٦	١٩٢,٤	١٨٤,٥
١٥أبريل و٣٠ أغسطس	٩,٣٨°	٠,٩٨٦٦	٠,١٦٣٠	٢٥٤,٨	٢٣٤,٦
٢١مارس و ٢٣ سبتمبر	صفر	١,٠٠٠٠	صفر	٣٥٨,٩	٣٢٦,١
١٥ أكتوبر و ٢٨ فبراير	-٨,٢٣°	٠,٩٨٩٧	-٠,١٤٣١	٥٤٠,٢	٤٩٥,٩
١٥ نوفمبر و ٢٨ يناير	-١٨,٣٣°	٠,٩٤٩٢	-٠,٣١٤٥	١٣٧٧,٠	١٣١٨,٠
٢٢ ديسمبر	-٢٣,٤٥°	٠,٩١٧٤	-٠,٣٩٧٩	٦٨٨١,٠	٦٨١٤,٠

L = ميل زاوية الشمس.

rs = نصف قطر القوس الذي يمثل مسار الشمس.

ds = مسافة مركز القوس من مركز الدائرة الأساسية.

جدول رقم (٤ , ٤). بيانات الأقواس التي تمثل الزمن

الزمن	س	Sin (١٥× س)	tan (١٥×س)	(rh)	(dh)
الساعة ٦ صباحا	٦	١,٠٠٠٠	∞	١٦٥,١	صفر
الساعة ٧ صباحا	٥	٠,٩٦٦	٣,٧٣٢	١٧٠,٩	٤٤,٢
الساعة ٨ صباحا	٤	٠,٨٦٦	١,٧٣٢	١٩٠,٦	٩٥,٣

تابع جدول رقم (٤ , ٤).

الزمـــــن	س	Sin (١٥× س)	tan (١٥×س)	(rh)	(dh)
الساعة ٩ صباحا	٣	٠,٧٠٧	١,٠٠٠	٢٣٣,٦	١٦٥,١
الساعة ١٠ صباحا	٢	٠,٥٠٠	٠,٥٧٧	٣٣٠,٤	٢٨٦,٣
الساعة ١١ صباحا	١	٠,٢٥٩	٠,٢٦٨	٦٣٧,٥	٦١٦,١
الساعة ١٢ ظهرا	صفر	صفر	صفر	∞	∞
الساعة ١٣ بعدالظهر	١	٠,٢٥٩	٠,٢٦٨	٦٣٧,٥	٦١٦,١
الساعة ١٤ بعدالعصر	٢	٠,٥٠٠	٠,٥٧٧	٣٣٠,٤	٢٨٦,٣
الساعة ١٥ عصرا	٣	٠,٧٠٧	١,٠٠٠	٢٣٣,٦	١٦٥,١
الساعة ١٦ بعدالعصر	٤	٠,٨٦٦	١,٧٣٢	١٩٠,٦	٩٥,٣
الساعة ١٧ مساء	٥	٠,٩٦٦	٣,٧٣٢	١٧٠,٩	٤٤,٢
الساعة ١٨ مساء	٦	١,٠٠٠	∞	١٦٥,١	صفر

جدول رقم (٥ , ٤). بيانات للدوائر التي تمثل الزوايا العمودية.

زاوية ارتفاع الشمس (β)	Cos β	Sin β	1 + Sin β	نصف قطر الدائرة r_β (مم)
صفر	١,٠٠٠	صفر	١,٠٠٠	١٥٠,٥
١٠°	٠,٩٨٥	٠,١٧٠	١,١٧٠	١٢٦,٣
٢٠°	٠,٩٤٠	٠,٣٤٢	١,٣٤٢	١٠٥,٠
٣٠°	٠,٨٦٦	٠,٥٠٠	١,٥٠٠	٨٦,٦
٤٠°	٠,٧٦٦	٠,٦٤٣	١,٦٤٣	٦٩,٩
٥٠°	٠,٦٤٣	٠,٧٦٦	١,٧٦٦	٥٤,٦
٦٠°	٠,٥٠٠	٠,٨٦٦	١,٨٦٦	٤٠,٢
٧٠°	٠,٣٤٢	٠,٩٣٩	١,٩٣٩	٢٦,٥
٨٠°	٠,١٧٠	٠,٩٨٥	١,٩٨٥	١٢,٨
٩٠°	صفر	١,٠٠٠	٢,٠٠٠	صفر

β = زاوية ارتفاع الشمس، r_β = نصف قطر الدوائر التي تمثل الزوايا العمودية.

لاشك أن المعدلات الخاصة بأقطار الأقواس التي تمثل مسار الشمس في الشهور المختلفة لمدينة الرياض تُعتبر كبيرة جدا ويصعب رسمها بواسطة الفرجار العادي. ولذلك كان لابد من اللجوء إلى استعمال جهاز الحاسب الآلي الذي وفر الدقة والسرعة المطلوبة لرسم بياني مسار الشمس ومنقلة الظلال. وباستعمال منقلة الظلال وبياني مسار الشمس يمكن تحديد زوايا الظل الأفقية (α_{sh}) والعمودية (β_{sh}) للفتحات المختلفة والتي تساعد على تصميم كاسرات الشمس الملائمة. يوضح الشكل رقم (١٦ ,٤) البياني الخاص الذي يحتوي علي الخطوط الكنتورية لدرجات الحرارة المتساوية لمدينة الرياض. على هذه المصفوفة تم تحديد الفترات الحارة التي تستوجب حجب أشعة الشمس ومنعها من النفاذ إلى الفراغات الداخلية. هذه الفترات الحارة تنحصر بين الحد الأدنى لمنطقة الراحة الحرارية (٢٢,٥ ْم فعالة مصححة)، والخطوط التي تمثل شروق الشمس وغروبها (سعيد، ١٩٩١ و Koenigsberger, 1973).

ويتضح لنا من دراسة البياني أن الفترات التي تستوجب حجب أشعة الشمس هي كالآتي:

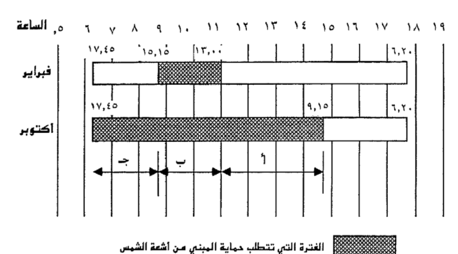
١ - ٢٨ يناير من الساعة ١٤,٠٠ إلى الساعة ١٥,٠٠ بعد الظهر.
٢ - ٢٨ فبراير من الساعة ١٢,٠٠ إلى الساعة ١٥,١٥ بعد الظهر.
٣ - ٢١ مارس من الساعة ١٠,٣٠ صباحا إلى الساعة ١٧,٣٠ مساء.
٤ - ١٥ أبريل من الساعة ٩,٣٠ صباحا إلى غروب الشمس.
٥ - ١٥ مايو من الساعة ٨,٢٠ صباحا إلى غروب الشمس.
٦ - ٢٢ يونية من شروق الشمس إلى غروب الشمس.
٧ - ٣٠ يولية من شروق الشمس إلى غروب الشمس.
٨ - ٣٠ أغسطس من شروق الشمس إلى غروب الشمس .
٩ - ٢٣ سبتمبر من الساعة ٨,٠٠ صباحا إلى غروب الشمس .
١٠ - ١٥ أكتوبر من الساعة ٩,١٥ صباحا إلى غروب الشمس.
١١ - ١٥ نوفمبر من الساعة ١١,٠٠ صباحا إلى غروب الشمس .
١٢ - ٢٢ ديسمبر من الساعة ١٢,٣٠ ظهرا إلى الساعة ١٥,٣٠ بعد العصر.

وتمّ بعد ذلك نقل هذه البيانات إلى بياني مسار الشمس والذي يمثل بياني

آخر معتمد أيضا على ساعات اليوم وشهور السنة، ولكن الاختلاف الوحيد بينهما هو أن إحداثيات هذا البياني عبارة عن منحنيات وليست خطوطا مستقيمة. وبما أن معظم خطوط مسارات الشمس تمثل يومين لشهرين مختلفين أثناء السنة فإن تحويل المعلومات التي توافرت من البياني الأول في الشكل رقم (٤,١٦) إلى البياني الثاني والذي يمثل مسار الشمس في الشكل رقم (٤,١٨) سوف يعطي خطين مختلفين، الخط الأول (أ) والذي يمثل الفترة الحارة من يونية إلى نوفمبر، والخط الثاني (ب) والذي يمثل الفترة الباردة من ديسمبر إلى مايو. وبما أن هناك اختلافا في درجات الحرارة خلال هاتين الفترتين، فإن الخطين اللذين يمثلاهما لايتطابقان، وبالتالي يعكسان اختلافا واضحا وتباينا كبيرا في متطلبات التظليل. في ١٥ أكتوبر يكون التظليل ضروريا للفترة من الساعة ٩,١٥ صباحا إلى غروب الشمس. أما في ٢٨ فبراير، عندما تأخذ حركة الشمس نفس المسار يكون التظليل ضروريا للفترة من الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر إلى الساعة ١٥,١٥ عصرا. وبذلك يكون هناك تضارب في متطلبات التظليل خلال فترتين، الفترة الأولى من الساعة ٩,١٥ صباحا إلى الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر والفترة الثانية من الساعة ١٥,١٥ عصرا إلى غروب الشمس (الشكل رقم ٤,٢٠). يمكن في هذه الحالة توفير التظليل المطلوب بواسطة استعمال كاسرات الشمس المتحركة. أما عندما تُستعمل كاسرات الشمس الثابتة فيجب على المهندس المعماري عمل الدراسات والتحليلات اللازمة من أجل الوصول إلى الحل الأمثل. يجب تحديد أي البديلين أخف ضررا بالنسبة للراحة الحرارية للإنسان، هل هو البديل الأول والذي يتمثل في السماح لأشعة الشمس بالنفاذ إلى داخل الفراغ خلال الفترة من الساعة ٩,١٥ صباحا إلى الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر ومن الساعة ١٥,١٥ عصرا إلى غروب الشمس خلال شهر أكتوبر على الرغم من أنه غير مرغوب فيها، أم بحجب أشعة الشمس خلال الفترة نفسها من شهر فبراير على الرغم من أنه مرغوب فيها من أجل التدفئة. يتضح لنا من البيانات المناخية لمدينة الرياض أن درجات الحرارة خلال شهر أكتوبر للفترة الأولى من الساعة ٩,١٥ صباحا إلى الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر تتراوح من ٢٦,٠ °م إلى ٣٧,٠ °م، وللفترة الثانية من الساعة ١٥,١٥ عصرا إلى غروب الشمس تتراوح من ٣٠,٠ °م إلى ٣٧,٠ °م. وبالمقابل فإن درجات الحرارة خلال شهر فبراير للفترة

الأولى من الساعة ٩,١٥ صباحا إلى الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر تتراوح من ١١,٠ م إلى ٢٦,٥ م وخلال الفترة الثانية من الساعة ١٥,١٥ عصرا إلى غروب الشمس تتراوح درجات الحرارة من ٥,٥ م إلى ٢٨,٠ م. من هذا التحليل المختصر يتضح لنا الارتفاع الواضح في درجات الحرارة خلال شهر أكتوبر فوق مستوى الحد الأعلى لمتطلبات الراحة الحرارية. عليه يُستحسن تصميم كاسرات الشمس لتوفير التظليل الكامل للنوافذ خلال هذه الفترة، وذلك لأن مفعول نفاذ أشعة الشمس إلى الداخل خلال شهر أكتوبر سوف يكون أكثر ضررا بالنسبة لمتطلبات الراحة الحرارية للإنسان مقارنة بحجب أشعة الشمس خلال شهر فبراير.

إن بياني مسار الشمس والموضح عليه الفترة الحارة (الشكل رقم ١٨,٤) يُعتبر الأداة الفعّالة والمثاليّة لتحديد بدائل التظليل. بواسطة البياني المذكور أعلاه ومنقلة الظلال يمكن وضع العديد من البدائل المتاحة للتظليل وذلك بتحديد زوايا الظلال الأفقية والعمودية ويمكن ذكر بدائل التظليل التالية على سبيل المثال لا الحصر:



الفترة التي تتطلب حماية المبني من أشعة الشمس

أ وب : الفترات التي تتطلب التظليل خلال شهر أكتوبر
والتدفئة بواسطة دخول اشعة الشمس خلال شهر فبراير

شكل رقم (٢٠,٤). التباين في متطلبات التظليل.

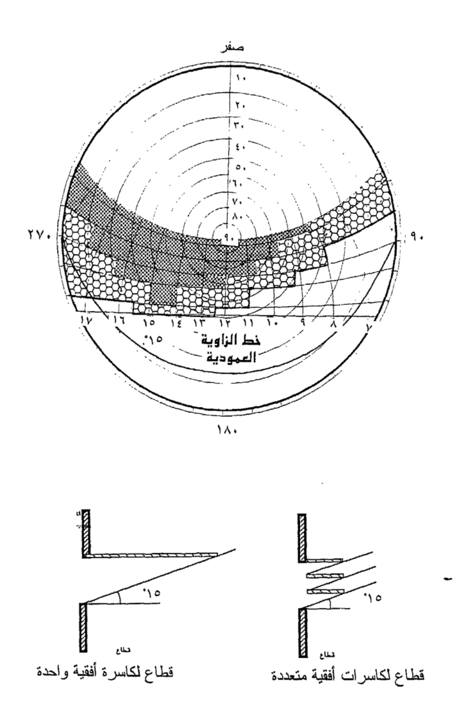
(ا) البديل الأول يتمثل في استعمال كاسرة أفقية فقط وتكون زاوية الظل العمودية لها = ١٥,٠ . و كما هو واضح في الشكل رقم (٢١,٤)، بواسطة هذه

الكاسرة يمكننا حماية النافذة حماية كاملة من أشعة الشمس خلال الفترة الحارة. هذه الكاسرة الأفقية سوف تحجب الشمس أيضا في فترات باردة لا يكون التظليل فيها مطلوبا، بل قد تكون أشعة الشمس المباشرة مرغوبة فيها من أجل التدفئة. هذه الفترات الباردة يمكن تلخيصها في الآتي:

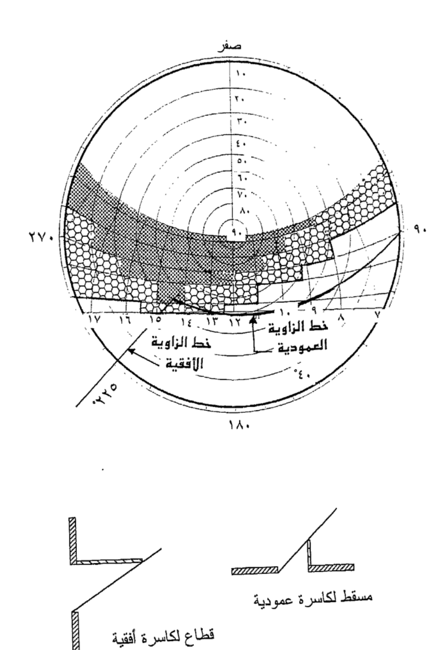
١ ـ ينـاير من الساعة ٧,٢٠ إلى الساعة ١١,٠٠ صباحا.
٢ ـ فبراير من الساعة ٦,٣٠ إلى الساعة ٩,١٥ صباحا.
٣ ـ مارس من شروق الشمس إلى الساعة ٨,٠٠ صباحا.
٤ ـ سبتمبر من شروق الشمس إلي الساعة ٩,٣٠ صباحا.
٥ ـ أكتوبر من الساعة ٦,٣٠ إلي الساعة ١٠,٣٠ صباحا.
٦ ـ نوفمبر من الساعة ٧,٢٠ إلي الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهـر.
٧ ـ ديسمبر من الساعة ٧,٣٠ صباحا إلى الساعة ١٢,٣٠ ظهرا، ومن الساعـة ١٥,٣٠ إلى الساعة ١٦,٤٥ مساء.

(ب) أما البديل الثاني فهو يتمثل في استخدام الكاسرات المزدوجة، الأفقية والعمودية. بالنسبة لهذا البديل تكون زاوية الظل العموديـة = ٤٠° وزاوية الظل الأفقية = ٤٥°. كما هو واضح في الشكل رقم (٤,٢٢)، و باستعمال الكاسرات المزدوجة يمكننا حماية النافذة حماية كاملة من أشعة الشمس خلال الفترة الحارة. إن الأداء المشترك للكاسرتين سوف يؤدي كذلك إلى منع أشعة الشمس من النفاذ إلى داخل المبنى في الأوقـات الـباردة والتي قـد تكون أشـعة الشمس مرغوبة فيها والتي يمكن تلخيصها في الآتي:

١ ـ يناير من الساعة ٩,١٥ إلى الساعة ١١,٠٠ صباحا.
٢ ـ فبراير من الساعة ٧,٢٠ إلى الساعة ٩,٣٠ صباحا.
٣ ـ مارس من شروق الشمس إلى الساعة ٨,٠٠ صباحا.
٤ ـ سبتمبر من شروق الشمس إلى الساعة ٩,٣٠ صباحا.
٥ ـ أكتوبر من الساعة ٧,٠٠ صباحا إلى الساعة ١٠,٣٠ صباحا.
٦ ـ نوفمبر من الساعة ٨,٣٠ صباحا إلى الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر.
٧ ـ ديسمبر من الساعة ١٠,٠٠ صباحا إلى الساعة ١٢,٣٠ ظهرا. ومن الساعة ١٥,٣٠ عصرا إلى غروب الشمس.

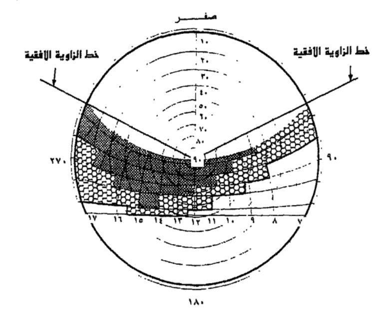


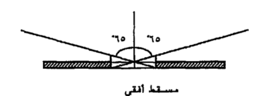
شكل رقم (٢١ ,٤). تظليل الفتحات على الواجهة الجنوبية بواسطة الكاسرة الأفقية.



شكل رقم (٢٢ , ٤). تظليل الفتحات على الواجهة الجنوبية بواسطة الكاسرات المزدوجة.

أما النافذة التي تقع على الواجهة الشمالية فهي بدون شك تحتاج إلى التظليل الكامل وذلك لأنها تتعرض لأشعة الشمس خلال فترة الصيف الحار والتي تتمثل في شهر مايو من شروق الشمس إلى الساعة ١٠,٣٠ صباحا ومن الساعة ١٥,٠٠ عصرا إلى غروب الشمس، وفي شهر يونيه من شروق الشمس إلى الساعة ٩,٠٠ صباحا ومن الساعة ١٣,٠٠ بعد الظهر إلى غروب الشمس، وفي شهر يوليه من شروق الشمس إلى الساعة ٧,٣٠ صباحا ومن الساعة ١٣,٣٠ بعد الظهر إلى غروب الشمس، وفي شهر أغسطس من الساعة ١٦,٤٥ عصرا إلى غروب الشمس. ويمكن تظليل هذه النافذة بواسطة كاسرات الشمس العمودية فقط، حيث تكون زوايا الظل الأفقية على الجانبين = ٦٥° (الشكل رقم ٢٣,٤).





شكل رقم (٢٣,٤). تظليل الفتحات على الواجهة الشمالية.

الفصل الخامس

التهوية الطبيعية

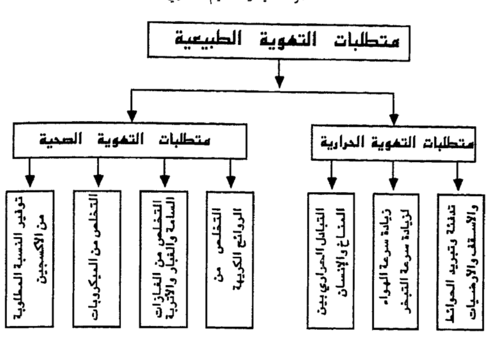
● فوائد التهوية الطبيعية ● حركة الهواء ● العناصر التصميمية التي تساعد على التحكم في التهوية الطبيعية ● الملاقف الهوائية ● وحدات التهوية الطبيعية

(٥,١) فوائد التهوية الطبيعية

التهوية الطبيعية للمباني هو المصطلح الذي يُقصد به عملية تغيير الهواء الداخلي بهواء نقي من الخارج بواسطة الوسائل الطبيعية فقط. إن توفير المعدل الأدنى من التهوية الطبيعية داخل المباني يُعتبر من العناصر الضرورية لحياة الإنسان من أجل راحته وصحته وحيويته. فأهمية التهوية الطبيعية تكمن في أثرها الفعّال في تخفيف الإجهاد الحراري على الإنسان، وتساعد أيضا على التخلص من ثاني أكسيد الكربون والروائح الكريهة والشوائب الضارة بالصحة. وتُعتبر التهوية الطبيعية ضرورية من أجل تخفيض درجة حرارة الحوائط والأسقف والأرضيات بالاستفادة من ظاهرة انتقال الحرارة بواسطة تيارات الحَمْل. ويمكن حصر أهم فوائد التهوية الطبيعية (شكل رقم ٥,١) في النقاط التالية (Van Straaten, 1967):

١ ـ التهوية الطبيعية من أجل صحة الإنسان.

٢ ـ التهوية الطبيعية من أجل الراحة الحرارية.



شكل رقم (١ , ٥). متطلبات التهوية الطبيعية في المباني.

المصدر: Van Straaten (1967), p. 228

(١ , ١ , ٥) التهوية الطبيعية من أجل صحة الإنسان

إن ضمان الحد الأدنى من نقاء الهواء داخل المباني، والتخلص من الروائح الكريهة والنتنة والشوائب الضارة العالقة به يُعتبر من المتطلبات المهمة لحياة الإنسان وصحته. لابد من تجديد الهواء داخل الفراغ من فترة إلى أخرى بهواء نقي من الخارج يحتوي على النسبة الضرورية من غاز الأكسجين التي يحتاجها الإنسان من أجل التنفس وطبخ الطعام، وأيضا للتخلص من تراكمات ثاني أكسيد الكربون. يتكون الهواء العادي من ٢١٪ من غاز الأكسجين ومن ٠٣ , ٠٪ إلى ٠٤ , ٠٪ من غاز ثاني أكسيد الكربون و٧٨٪ من غاز النيتروجين و١٪ من الغاز الخامل inert gas ومن ٥ إلى ٢٥ جراما من بخار الماء لكل متر مكعب من الهواء. أما الهواء داخل المباني فإن مكوناته وخصائصه تتأثر نتيجة لوجود الأشخاص وأنشطتهم المختلفة فترتفع نسبة ثاني أكسيد الكربون وتزداد كمية بخار الماء نتيجة لعملية التنفس والطبخ والنشاطات الأخرى، وأيضا تنتشر الجراثيم التي تنقل الأمراض بواسطة الزفير والعطس والكحة. وتؤثر الإفرازات العضوية من جسم الإنسان

والتي تعتمد على النواحي الصحية والعادات والتقاليد الغذائية والاجتماعية للإنسان، على رائحة الهواء الداخلي. كما يؤثر التدخين وبصورة فعّالة على خصائص الهواء ومكوناته. ويتكون الهواء الذي يخرج من الرئة أثناء عملية الزفير من ١٦,٣٪ من غاز الأكسجين و٤٪ من غاز ثاني أكسيد الكربون و٧٩,٧٪ من غاز النيتروجين والغازات الأخرى و٤٥ جراما من بخار الماء لكل متر مكعب. إن متطلبات الإنسان من الأكسجين تعتمد على مستوى التفاعل الحيوي. عموما بالنسبة للمباني العادية، كالمباني السكنية والتجارية والترفيهية والتعليمية، فإن التغييرات التي تحدث في نسبة غاز الأكسجين وغاز ثاني أكسيد الكربون ليس لها أثر كبير على صحة الإنسان.

بعد إجراء العديد من البحوث والدراسات ثبت أن الآثار الضارة لصحة الإنسان لا تحدث إلا بعد انخفاض نسبة الأكسجين إلى أقل من ١٦-١٨٪ وارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون إلى أكثر من ١-٢٪ (Winslow, 1926). ولذلك فإن نسبة الأكسجين ونسبة ثاني أكسيد الكربون في الهواء الداخلي لاتصلح لأن تكون المعيار الأساسي لتحديد الحد الأدنى لمعدل التهوية الطبيعية الضروري داخل المباني. إن جودة الهواء تعتمد على عدة عوامل منها نسبة ثاني أكسيد الكربون والذي يُعتبر من أسهلها تحديدا. وبالتالي يمكن تحديد مقدار كمية الروائح الكريهة بالتقريب بناء على نسبة ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الهواء. وقد تم وضع الحد الأعلى المسموح به لنسبة ثاني أكسيد الكربون في بعض الدول الأوربية والولايات المتحدة الأمريكية لضمان الحد الأدنى من متطلبات التهوية الصحية. أمّا بالنسبة للمنشآت الصناعية، فقد حددت السلطات الفرنسية الحد الأعلى من ثاني أكسيد الكربون بـ ١,٠٪، وفي الولايات المتحدة الأمريكية حُددت هذه النسبة بـ ٥٪. ويجب التأكيد هنا على أنه لاتوجد علاقة مباشرة بين نسبة ثاني أكسيد الكربون والعناصر الأخرى التي تؤثر على خصائص ومكونات الهواء والتي تعتمد على النواحي الصحية والعادات والتقاليد الاجتماعية للأشخاص المستعملين للمبنى، وهذا بدوره يعكس لنا التباين الواضح والكبير في الحد الأعلى لنسبة ثاني أكسيد الكربون والتي يُسْمَحْ بها في البلدان المختلفة.

إن الروائح الكريهة تنشأ وتتكون نتيجة للتفاعل الحيوي لجسم الإنسان والروائح الناتجة من عملية الطبخ والتدخين... إلخ. إن مستعملي الفراغ الداخلي

قد لا يلاحظون التغيير التدريجي في ارتفاع معدل الروائح الكريهة في الهواء المحيط بهم، والتي قد يلاحظها الزائر بمجرد دخوله للمبنى. وبعد مرور فترة من الزمن يتأقلم الزائر على وجود الروائح الكريهة شريطة أن تكون في حدود المعدل المعقول والذي اعتاد عليه الشخص. إن زمن التأقلم على المستوى المعقول من الروائح الكريهة يُقدر بحوالي عشر دقائق. وهذا يعني أنه من الصعوبة بمكان وضع معيار علمي دقيق لقياس معدلات ومستويات الروائح الكريهة ووضع أُسس تحدد المعدلات العليا التي قد يتحملها الشخص (Fisk, 1981). لقد أثبتت الدراسات والتجارب المعملية والميدانية أن التخلص من الروائح الكريهة داخل المباني يحتاج إلى معدلات أعلى من التهوية الطبيعية مقارنة بالمعدلات التي توفر النسبة الضرورية من غاز الأكسجين والتي تساعد على التخلص من التراكمات العالية من غاز ثاني أكسيد الكربون. ولقد وضعت بعض الدول قوانين ولوائح تحدد معدلات التهوية الطبيعية المطلوبة للتخلص من الروائح الكريهة. وقد اعتمدت هذه اللوائح على معيارين أساسيين، الأول يرتكز على معدل تغيير الهواء الداخلي للفراغ كله لكل ساعة، والثاني يرتكز على معدل تغيير الهواء لكل متر مكعب في الساعة كما هو مبين في الجدول رقم (١ ,٥).

الجدول رقم (١ ,٥). الحد الأدنى من معدلات التهوية الطبيعية للفراغات الداخلية.

القطر	معدل التهوية الطبيعية للفراغ عدد مرات تغيير الهواء لكامل الفراغ/ ساعة				معدل تغيير الهواء الداخلي متر مكعب / ساعة			
	صالة المعيشة	المطبخ	الحمام	دورة المياه	صالة المعيشة	المطبخ	الحمام	دورة المياه
بلجيكا	١	–	–	–	–	–	–	–
المجر	١	٣	–	٥	–	–	٢٥	–
بولندا	٣ ,٠-١	–	–	–	–	–	–	–
السويد	–	–	–	–	٤٥	–	–	–
روسيا	–	–	–	–	٤٥	٦٠-٩٠	٢٥	٢٥
فرنسا	١-٥ ,١	٣-٤	٣	٢	–	–	–	–

المصدر: Givoni (1981). p. 267

(٢, ١, ٥) التهوية الطبيعية من أجل الراحة الحرارية

يتبادل الإنسان الحرارة مع المحيط الخارجي بواسطة تيارات الحَمْل والإشعاع، ويتم فقدان الحرارة نتيجة لتبخر العرق من على سطح الجسم. وللتهوية الطبيعية دورها المهم في عملية الاتزان الحراري للإنسان، وذلك لأنها تؤثر على سرعة ودرجة حرارة الهواء الداخلي، وتؤثر أيضا على درجة حرارة الأسطح للفراغات الداخلية كالحوائط والأسقف والأرضيات. في المناطق ذات المناخ البارد والتي تتميّز بدرجة حرارة منخفضة تكون التهوية الطبيعية غير مرغوبة لأن دخول الهواء البارد من الخارج سوف يؤدي إلى خفض درجة حرارة الهواء الداخلي، وهذا يعني استهلاك المزيد من الطاقة من أجل التدفئة. وبالتالي يكون الهدف الرئيسي من التهوية الطبيعية في هذه المناطق هو التخلص من الروائح الكريهة وتوفير النسبة الضرورية من الأكسجين والتخلص من تراكمات ثاني أكسيد الكربون. أما في المناطق ذات المناخ الحار، أو تلك التي يكون صيفها حارا، فإن متطلبات التهوية الطبيعية ترضخ إلى معايير مختلفة تماما. ترتكز المعايير المهمة، والتي تحدد متطلبات التهوية الطبيعية في المناطق الحارة، على ضرورة التخلص من الروائح الكريهة بالإضافة إلى الاستفادة من قوة الدفع لتيار الهواء الخارجي في زيادة سرعة الهواء المنساب عبر الفراغ الداخلي. إن زيادة سرعة الهواء في الفراغات الداخلية تؤدي إلى زيادة معدل تبخر العرق من على سطح جسم الإنسان، وتساعد أيضا على التخلص من الرطوبة العالية خاصة في المناطق ذات المناخ الحارّ الرطب. ولذلك تُعتبر سرعة الهواء أهم بكثير من معدل تغيير الهواء في هذه المناطق. في المناطق التي تتميّز بالمناخ الحار الرطب يجب ألا تقل سرعة الهواء عن ٢ متر/ ثانية، أما في الأقاليم التي تتميّز بالمناخ الحار الجاف فيجب ألا تقل سرعة الهواء عن ١ متر/ ثانية (Givoni, 1981). تُعتبر حركة الهواء مهمة جدا بالنسبة للراحة الحرارية للإنسان، فهي أحد العناصر التي تُحدد معدل التبادل الحراري بين جسم الإنسان والمناخ المحيط به، وكذلك معدل تبخر العرق من على سطح الجسم. وهنالك علاقة وثيقة بين التهوية الطبيعية من أجل الراحة الحرارية وبين درجة حرارة الهواء والرطوبة النسبية داخل المبنى. وعندما تكون السرعة العالية للهواء من متطلبات الراحة الحرارية، فإن ذلك قد يعني عدم التجانس في توزيع حركة الهواء ووجود تباين كبير في سرعة الهواء في الأماكن المختلفة من الفراغ

الداخلي. ولكل هذه الأسباب يكون من الأفضل استعمال سرعة الهواء كمعيار أساسي للتهوية الطبيعية بدلا من استعمال معدل تغيير الهواء لكل الفراغ، أو معدل تغيير الهواء لكل متر مكعب في الساعة. لاشك أن سرعة الهواء تتأثر بالشكل الهندسي، والتوزيع الداخلي للفراغ، ومواقع الفتحات وتصميمها وتوجيهها بالنسبة لاتجاه تيار الهواء الخارجي.

إن معدل التبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط به يعتمد على عدة عناصر والتي من بينها الفرق بين درجة حرارة الإنسان ودرجة حرارة الهواء. عندما تكون درجة حرارة الإنسان أعلى من درجة حرارة الهواء يفقد الإنسان الحرارة إلى الهواء، وعندما ترتفع درجة حرارة الهواء تكون هنالك ضرورة لزيادة سرعته وذلك من أجل المحافظة على معدل فقدان الحرارة نفسه. وهذه العلاقة تستمر إلى أن تتساوى درجة حرارة الهواء مع درجة حرارة الإنسان. أما عندما ترتفع درجة حرارة الهواء إلى معدلات أعلى من درجة حرارة الإنسان فإن الزيادة في سرعة الهواء تؤدي إلى اكتساب المزيد من الحرارة نتيجة لتيارات الحَمْل، ولكن المفعول الكلي للتبادل الحراري بين الإنسان والمناخ المحيط به يعتمد على العناصر الأخرى التي تتمثل في الرطوبة النسبية ومعامل العزل الحراري للملابس، ونوعية النشاط الذي يقوم به الإنسان. عندما يكون الإنسان داخل المبنى فإنه يتبادل الحرارة بواسطة الإشعاع مع الأسطح الداخلية للفراغ كالحوائط والأسقف والأرضيات. ويعتمد معدل التبادل الحراري على الفرق بين درجة حرارة الإنسان ومتوسط درجة الحرارة الإشعاعية للأسطح الداخلية.

كذلك يتم تبادل حراري بين الأسطح الداخلية والهواء، وبالتالي يكون للهواء أثره في تحديد معدلات درجة حرارة الأسطح الداخلية. في حالة عدم وجود تهوية طبيعية للفراغ الداخلي، فإن درجة حرارة الهواء الداخلي تتأثر بدرجة حرارة الأسطح الداخلية. أما عندما تتوافر التهوية الطبيعية فإن الهواء الخارجي يختلط بالهواء الداخلي ويمتزج معه. بينما يتم التبادل الحراري بين الأسطح الداخلية والهواء الداخلي ببطء ، فإنّ الهواء الخارجي يتفاعل مع الهواء الداخلي بسرعة وفي فترة وجيزة. إن كمية الحرارة التي يفقدها أو يكتسبها الهواء الداخلي نتيجة للتهوية الطبيعية، هي حاصل ضرب معدل التهوية الطبيعية والحرارة النوعية لحجم الهواء والفرق بين درجة حرارة الهواء الخارجي ودرجة حرارة

الهواء الداخلي. ويمكن تحديد كمية الحرارة التي يفقدها أو يكتسبها الهواء الداخلي نتيجة للتهوية الطبيعية بواسطة المعادلة التالية (Koenigsberger, 1973):

$$Qv = Cv \times V \times \delta T \qquad (٥,١)$$

$$Qv = 1300 \times V \times \delta T$$

حيث

Q = كمية الحرارة التي يكتسبها أو يفقدها الهواءالداخلي (واط).

Cv = الحرارة النوعية الحجمية للهواء = ١٣٠٠ جول/ متر مكعب - درجة مئوية.

δ = الفرق في درجات الحرارة (درجة مئوية).

V = معدل التهوية الطبيعية (متر مكعب/ ساعة).

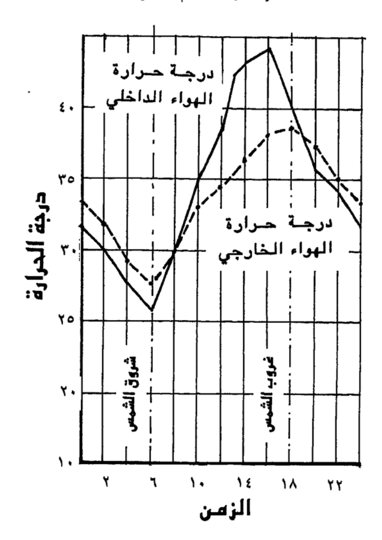
وتجدر الإشارة هنا إلى أن المعادلات السابقة تتعلق بدرجة حرارة الهواء الداخلي والتي قد تختلف اختلافا كبيرا عن درجة حرارة الأسطح الداخلية للحوائط والأسقف والأرضيات التي تُحَدد الفراغ الداخلي. وقد تمّ إجراء العديد من التجارب المعملية لدراسة مفعول التهوية الطبيعية على درجة حرارة الأسطح الداخلية ودرجة حرارة الهواء الداخلي. وفي بعض النماذج لهذه التجارب تم استعمال أنواع مختلفة من مواد البناء وكذلك الألوان المختلفة للأسطح الخارجية وثلاثة معدلات من التهوية الطبيعية وهي كالآتي (Mukhtar, 1981):

(ا) عدم وجود تهوية طبيعية.

(ب) تهوية طبيعية ٢٤ ساعة ليلا ونهارا.

(جـ) تهوية طبيعية لفترة ١٢ ساعة ليلا.

ومن الملاحظات العامة لنتائج هذه التجارب أنه في حالة استعمال اللون الرمادي للسطح الخارجي للحائط الغربي فإن انحراف درجة حرارة الهواء الداخلي ودرجة حرارة السطح الداخلي يكون أعلى مقارنة باستعمال اللون الأبيض. وأثبتت نتائج التجارب أن المفعول الكلي للتهوية الطبيعية على درجة حرارة الأسطح الداخلية يتأثر أيضا بالخصائص الحرارية والفيزيائية للمواد المستعملة وسمك هذه المواد. وقد أثبتت التجارب الميدانية أن التهوية الطبيعية أثناء الليل فقط لها مفعول كبير على درجة حرارة الأسطح الداخلية والهواء الداخلي كما هو واضح في الشكل رقم (٥,٢).



شكل رقم (٢ ,٥). التهوية الطبيعية أثناء الليل.

(٢ ,٥) حـــركـة الهـــواء

إن الطاقة التي تتسبب في حركة الهواء عبر المبـنـى تُعرف بالطاقـــــة الحركيـة kinetic energy للرياح وهي تعادل $\left(\frac{1}{2}\,\sigma\, V^2\right)$ في حين أن σ ترمز إلى كثافة الهواء و (V) ترمز إلي سرعة الهـواء (Givoni, 1968). إن تخلخل الهـواء وحركته داخل المبنى يتم نتيجة للتدرج في الضغط الجوي pressure gradient عبر

الفراغ الداخلي والذي يتكون نتيجة لعاملين أساسيين هما قوة الـدفـع الحـراري thermal force الناتجة من التـدرج في درجات الحرارة temperature gradient بين الهواء الداخلي والهواء الخارجي، وقوة الدفع الهوائي wind force النـاتج عن تيارات الهـواء الخـارجي.

(١,٢,٥) حركة الهواء داخل المبنى نتيجة لقوة الدفع الحراري

عندما يوجد اختلاف أو تباين في درجة حرارة الهواء الداخـلي ودرجـة حرارة الهواء الخارجي يؤدي ذلك إلى التباين في كثافة الهواء وبالـتـالـي إلـى الاختلاف في الضغط الجوي. عند وجود نافذة واحدة في مستوى معين من المبنى فإن ضغط الهواء على جانبي النافذة وبمرور الوقت يصل إلى مرحلـة الـتـوازن وعندها يتوقف تدفق الهواء عبر النافذة على الرغم من وجود التباين في درجـة حرارة الهواء الداخلـي والخارجي. إذا كانت درجة حرارة الهواء الداخلي أعلى من درجة حرارة الهواء الخارجي فإن كثافة الهواء الداخلي تكون أقل من كثـافـة الهواء الخارجي وبالتالي يكون تدرج الضغط الرأسي للهواء الداخلي أقل من تدرج الضغط الرأسي للهواء الخارجي. ينشأ ضغط هوائي عال في الفراغ الداخلي الذي يقع فوق مستوى النافذة بينما ينشأ ضغط هوائي منخفض في الفراغ الذي يقع تحت مستوى النافذة نتيجة لتحرك الهواء من أسفل إلى أعلى. إن معدلات الضـغـط الهوائي تزداد مع زيادة المسافة الرأسية من مستوى النافذة. في هذه الحالـة فـإن الهواء الداخلي لاينفذ إلى خارج المبنى لعدم وجود فتحة عند مستوى الضـغـط الهوائي العالي. أما في حالة وجود نافذتين على ارتفاعين مختلفين وفي واجهة واحدة من المبنى، وعندما تكون درجة حرارة الهواء الداخلي أعلـى مـن درجـة حرارة الهواء الخارجي، فإن الضغط الهوائي العالي يتكون في المناطق العـالـيـة بالقرب من النافذة العليا مما يؤدي إلى خروج الهواء عبر هذه النافذة وبالتالي ينشأ انخفاض في معدلات الضغط الهوائي في المناطق المنخفضة أي بالقرب من النافذة السفلى مما يؤدي إلى دخول الهواء من الخارج عبر هذه النافذة، وتستمر حركـة الهواء على هذا المنوال كما هو واضح في الشكل رقم (٥,٣). أما عندما تكون درجة حرارة الهواء الداخلي أقل من درجة حرارة الهواء الخارجي فإن حركة الهواء تأخذ مسارا معاكسا للمثال السابق. وفي هذه الحالة يكون الضغط المنخفض في

الفراغ الذي يقع فوق مستوى النافذة ويكون الضغط العالي في الفراغ الذي يقع تحت مستوى النافذة. وبما أن درجة حرارة الهواء الخارجي أعلى من درجة حرارة الهواء الداخلي، يرتفع الهواء الحار في الخارج إلى أعلى فيؤدي ذلك إلى انخفاض في الضغط الهوائي الخارجي في المستويات المنخفضة المواجهة للنافذة السفلى والتي تقع في منطقة الضغط الهوائي العالي، ونتيجة لذلك يخرج الهواء عبر النافذة السفلى ويؤدي ذلك إلى انخفاض الضغط الهوائي في المستويات العالية القريبة من النافذة العليا وبالتالي تحدث عملية سحب للهواء من الخارج عبر هذه النافذة وتستمر حركة الهواء على هذا المنوال كما هو واضح في الشكل رقم (٥,٣). إن الفرق بين الوزن الحجمي الكلي لعمود الهواء الخارجي وعمود الهواء الداخلي يعتمد على المسافة الرأسية (h) بين النافذتين والفرق بين درجة حرارة الهواء الداخلي ودرجة حرارة الهواء الخارجي (ΔT) بالنسبة إلى متوسط درجة الحرارة المطلقة للهواء المحيط والتي يمكن حسابها بواسطة المعادلة التالية:

$$K = t_a + 273 \qquad (٥,٢)$$

حيث

K = درجة الحرارة المطلقة للهواء المحيط (درجة كلفن = درجة مئوية + ٢٧٣).

t_a = درجة حرارة الهواء (درجة مئوية).

وبما أن متوسط وزن واحد سنتيمتر عمود من الماء يساوي وزن ٨,٥ متر عمود من الهواء بالمساحة نفسها وفي درجة الحرارة العادية وضغط الهواء العادي، فإن الفرق في ضغط الهواء Δp يمكن حسابه بواسطة المعادلة التالية (Givoni, 1981):

$$\Delta p = \frac{h \times \Delta t}{8.5 \times K}(cmH_2O) \qquad (٥,٣)$$

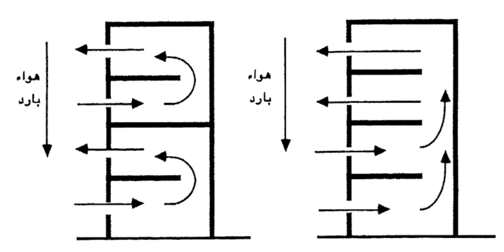
حيث

Δp = الفرق بين ضغط الهواء الخارجي وضغط الهواء الداخلي (مليبار).

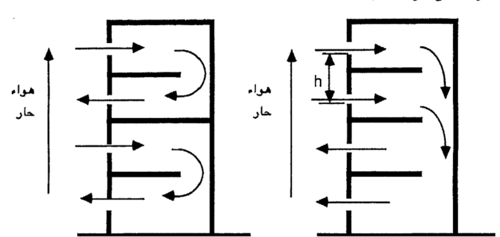
h = المسافة الرأسية بين النافذتين (متر).

Δt = الفرق في درجة الحرارة بين الهواء الخارجي والهواء الداخلي(درجة مئوية).

K = متوسط درجة الحرارة المطلقة (درجة كلفن).



عندما تكون درجة حرارة الهواء الخارجي أقل من درجة حرارة الهواء الداخلي ينخفض الهواء إلـى أسفل، وفي حالة وجود تدفئة داخلية فإن الهواء الداخلي يرتفع إلى أعلى ويخرج من النوافذ العليا مسببا انخفاضا في الضغط الهوائي في المستويات السفلى يؤدي إلى دخول الهواء من النوافذ السفلى وخروجه من النوافذ العليا.



عندما تكون درجة حرارة الهواء الداخلي أقل من درجة حرارة الهواء الخارجي يرتفع الهواء الخارجي إلى أعلى ويتسبب في انخفاض الضغط في المستويات السفلى، وفي حالة تبريد الفراغ الـداخـلـي ينخفض الهواء إلى أسفل ويؤدي ذلك إلى خروج الهواء من النوافذ السفلى ودخوله من النـوافـذ العليا.

شكل رقم (٣,٥). حركة الهواء في حالة وجود نافذتين على الواجهة نفسها.

المصدر: Fisk (1981). p. 121

وكمثال للكيفية التي يتم بها حساب ضغط الهواء بواسطة المعادلة المذكورة أعلاه، فإذا افترضنا أن متوسط درجة حرارة الهواء الداخلي تساوي ٢٥ °م، ومتوسط درجة حرارة الهواء الخارجي تساوي ٣٠°م والمسافة الرأسية (h) من مركز النافذة العليا إلى مركز النافذة السفلى تساوي ٣ أمتار فإنّ الضغط الهوائي يكون كالآتي:

$$\Delta p = \frac{3\,(30 - 25)}{8.5\left(273 + \frac{30+25}{2}\right)}$$

$$\Delta p = \frac{3 \times 5}{(8.5 \times 300.5)} = 0.006(cmH_2O)$$

إن معدل انسياب الهواء نتيجة لقوة الدفع الحراري يتناسب طرديا مع الجذر التربيعي للفرق بين ضغط الهواء الخارجي وضغط الهواء الداخلي والمساحة الفعلية للنافذة.
ويمكن حساب معدل انسياب الهواء (V) عبر النافذة بواسطة المعادلة التالية:

$$V = \varphi \times A(h \times \Delta t)^{0.5} \qquad (٥,٤)$$

حيث
V = معدل انسياب الهواء (متر مكعب/ دقيقة / متر مربع) = متر/ دقيقة.
φ = معامل مقاومة النافذة لانسياب الهواء وهو يقدر بـ ٩,٤ وحدة بريطانية أو ٧,٠ وحدات بالنظام المتري (ASHRAE, 1985).
A = المساحة الفعلية للنافذة (متر مربع).
h = المسافة بين الفتحتين (متر).
Δt = الفرق بين درجة حرارة الهواء الداخلي والخارجي (درجة مئوية).
وبالتالي يمكن كتابة المعادلة السابقة بالنظام المتري كالآتي:

$$V = 7 \times A(h \times \Delta t)^{0.5} m^3/min./m^2 = m/min.$$ (متر / دقيقة)

(٥,٢,٢) حركة الهواء نتيجة لقوة الدفع من تيار الهواء الخارجي

إن تيارات الهواء تتحرك مندفعة من جهة إلى أخرى فوق سطح الكرة الأرضية، والسبب في تحركها هو وجود مناطق ذات ضغط منخفض تجذب إليها الهواء من مناطق ذات ضغط مرتفع. إن الهواء الموجود في المناطق ذات الضغط

المرتفع يكون أكثر كثافة من الهواء الموجود في المناطق ذات الضغط المنخفض وبالتالي يتحرك الهواء من منطقة الضغط المرتفع إلى منطقة الضغط المنخفض ليملأها حتى يتساوى الضغط في المنطقتين. ولو كان الضغط الجوي متساويا على جميع جهات الكرة الأرضية لما تحرك الهواء ولبقي ساكنا مكانه. ويمكن تشبيه حركة الهواء من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض بانسياب الماء تلقائيا من المرتفعات إلى المنخفضات لكي يحصل التوازن في المستوى. عندما تصبح التهوية الطبيعية ضرورية من أجل التخلص من الرطوبة العالية وللمساعدة في عملية تبخر العرق من على سطح جسم الإنسان فإن معدل التهوية الطبيعية الناتج من قوة الدفع الحراري لا يكون كافيا إذ لابد في هذه الحالة من الاستعانة بحركة مرور الهواء عبر المبنى نتيجة للتباين في الضغط الجوي المحيط بالغلاف الخارجي للمبنى والذي يُعتبر أكثر فعالية من قوة الدفع الحراري. إن التفاصيل الدقيقة لظاهرة التهوية الطبيعية والتي تعتمد على التباين في الضغط الجوي في غاية التعقيد، ولكن هذا لا يمنع من التطرق لهذه الظاهرة بشكل عام من أجل دراسة تأثيرها ومفعولها على حركة الهواء حول المباني وداخلها. إن وجود الضغط الجوي المرتفع والضغط الجوي المنخفض غالبا ما يكون في أماكن ومواقع مختلفة من غلاف المبنى. عندما تتحرك تيارات الهواء الخارجي في اتجاه المبنى فإنها تنساب وتتوزع ويتغير اتجاهها حول المبنى وفوقه. إن ضغط الهواء في الواجهة التي تقابل اتجاه التيار الهوائي يكون مرتفعا بالمقارنة إلى ضغط الهواء في الواجهة الخلفية للمبنى، حيث يكون ضغط الهواء منخفضا، وتمثل هذه الواجهة منطقة السحب الهوائي، ونتيجة لذلك ينشأ فرق واضح في الضغط الهوائي. عندما يكون اتجاه الرياح بشكل عمودي على المبنى، فإن الواجهة الأمامية تتعرض إلى ضغط هوائي عالي، بينما تتعرض الواجهة الخلفية إلى مفعول السحب الهوائي. في هذه الحالة يكون توزيع الضغط الهوائي على الواجهة الأمامية والسحب الهوائي على الواجهة الخلفية منتظما، إذ يصل الضغط الهوائي إلى أعلى معدلاته في منتصف الواجهة الأمامية ويقل تدريجيا نحو طرفي الواجهة، بينما يكون مفعول السحب الهوائي في أدنى معدلاته في منتصف الواجهة الخلفية ويرتفع تدريجيا نحو طرفي الواجهة. أما إذا كان اتجاه التيار الهوائي مائلا، فإن الواجهتين الأماميتين تتعرضان للضغط الهوائي العالي بينما تتعرض الواجهتان الخلفيتان إلى

مفعول الضغط المنخفض أو السحب الهوائي، كما هو واضح في الشكل رقم (٥,٤). وفي كلتا الحالتين يـكون السقف تحت مفعول الضغط المنخفـض. إن الفرق في ضغط الهواء بين أي فتحتين على الغلاف الخارجي يحدد قوة الـدفـع الهوائي عبر الفراغ الداخلي. يمكن حساب الضغط الديناميكي في درجة الحرارة العادية بواسطة المعادلة التالية:

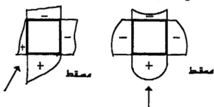
$$P_d = \Delta P / \frac{1}{16} V^2 \qquad (٥,٥)$$

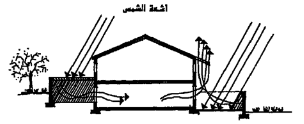
حيث

P_d = الضغط الديناميكي للهواء (مليبار).

ΔP = الفرق بين ضغط الهواء الداخلي وضغط الهواء الخارجي بالمليمتر من الماء (مليبار).

V = سرعة الهواء (متر/ثانية).





الهواء الساخن في الفناء المفتوح يرتفع إلى أعلى ويساعد في سحب الهـواء البارد من الفناء المظلل.

الفناء المظلل والتبريد بواسطة الماء يساعد في خفض درجة حرارة الهواء في هذا الفـنـاء فيتسرب الهواء إلى داخل المبنى نـتـيـجـة لانخفاض الضغط في الفناء المقابل وارتفاع الهواء إلى أعلى.

شكل رقم (٥,٤). توزيع ضغط الهواء حول المبنى.

لاشك أن تصميم المبنى بشكل عام وتصميم الفتحات بشكل خاص له مفعوله الواضح في حركة الهواء حول المبنى وداخله. إن المصدات والحواجز والفواصل الداخلية للفراغ تؤدي إلى تباين واضح في توزيع الضغط الجوي في الأماكن المختلفة من الفراغ وبالتالي يكون هنالك اختلاف في سرعة واتجاه الهواء. يمكن الحصول على معدلات منخفضة من سرعة الهواء في مواقع الضغط المنخفض داخل الفراغ، بينما يمكن الحصول على معدلات مرتفعة من سرعة الهواء النقي من الخارج في مواقع الضغط العالي، دون اللجوء إلى تغيير جذري في توزيع الهواء وسرعته داخل الفراغ.

(٣,٥) العناصر التي تساعد على التحكم في التهوية الطبيعية

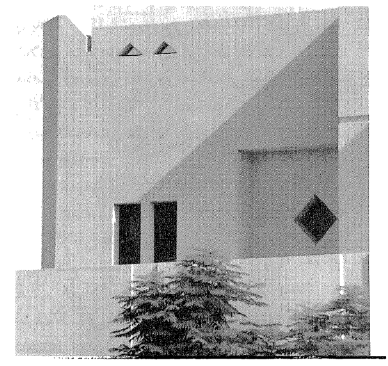
تعتمد حركة الهواء في الفراغ الداخلي على تصميم المبنى وتوجيهه بالنسبة لاتجاه الرياح وعلى تصميم الفتحات وتوجيهها (صور أرقام ٥,١ و٥,٢) وعلى تنسيق الموقع حول المبنى خاصة تخطيط الأشجار وتوزيعها كما هو واضح في الشكل رقم (٥,٥). كثيرا مايتعارض توجيه المبنى الملائم بالنسبة لاتجاه الرياح مع التوجيه الذي يلائم حركة الشمس وفي هذه الحالة لابد من عمل التحليلات والدراسات اللازمة من أجل الوصول إلى الحل الأمثل.

أما العناصر التصميمية المؤثرة والفعّالة على حركة الهواء داخل المبنى فيمكن تلخيصها في الآتي:

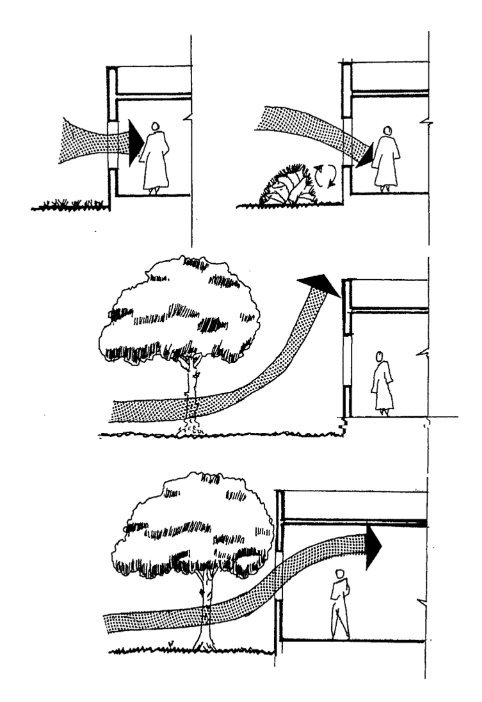
١ ـ توجيه الفتحات وعلاقتها باتجاه تيار الهواء الخارجي.
٢ ـ مساحة الفتحات.
٣ ـ التهوية العرضية.
٤ ـ التهوية العرضية المُسْتَحَثة.
٥ ـ الموقع الرأسي للفتحات.
٦ ـ طريقة فتح النافذة.
٧ ـ تصميم الفواصل الداخلية.
٨ ـ الشبك السلكي المثبت على النافذة للحماية من الحشرات.
٩ ـ التخطيط العام للموقع وعلاقته بالتهوية الطبيعية.



صورة رقم (١ , ٥). نماذج مختلفة من الفتحات لمبنى تجاري وسط الرياض.



صورة رقم (٢ , ٥). نماذج مختلفة من الفتحات لمبنى سكني شمال الرياض.

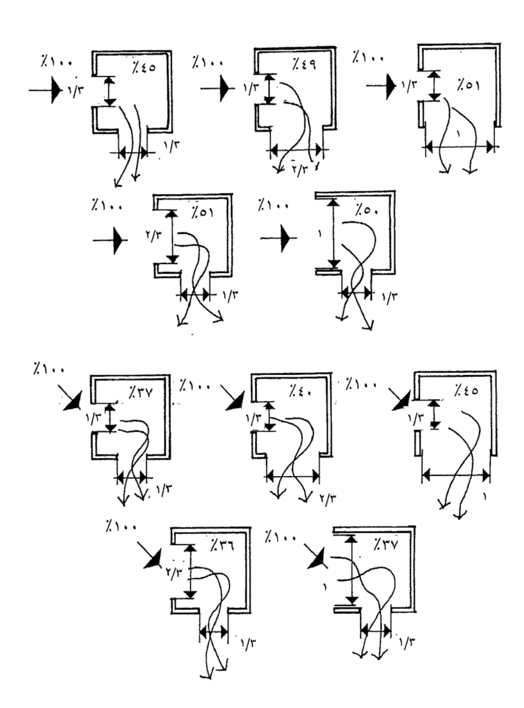


شكل رقم (٥ ,٥). مفعول الأشجار على حركة الهواء وتسربه إلى الداخل.

المصدر: Norbert (1991). p. 233

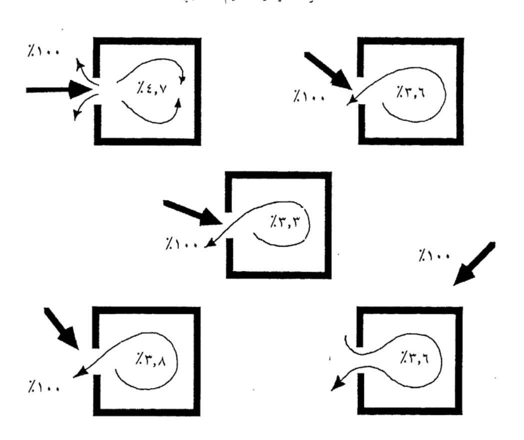
(٥,٣,١) توجيه الفتحات وعلاقته باتجاه تيار الهواء الخارجي

من أجل الاستفادة القصوى من التهوية الطبيعية يجب أن تكون نافذة دخول الهواء في مواجهة تيار الهواء الخارجي. عندما تكون النوافذ موزعة على الواجهة الأمامية المواجهة لاتجاه الرياح والواجهة الخلفية بعكس اتجاه الرياح، فإن تيار الهواء ينساب عبر الفراغ الداخلي، حيث يدخل الهواء من النوافذ التي تقع في منطقة الضغط العالي ويخرج من النوافذ التي تقع في منطقة الضغط المنخفض والتي تمثل منطقة السحب. إنّ معدل اندفاع التيار الهوائي عبر الفراغ الداخلي يعتمد ويتأثر بقوة الدفع المشترك لقوة الدفع الحراري وقوة الدفع الخاصة بتيارات الهواء الخارجي. ومن العوامل المهمة التي تحدد مجرى تيارات الهواء داخل المبنى، الاتجاه الفعلي لتيارات الهواء الخارجي وموقع النافذة وتصميمها. عندما يتطابق اتجاه تيار الهواء الخارجي مع الخط الذي يربط بين نافذتي المدخل والمخرج فإن حركة الهواء تستمر في خط مستقيم دون أي تغيير في الاتجاه. أما عندما يكون مخرج الهواء خارج خط السير الأساسي لتيار الهواء الخارجي، يواصل الهواء انسيابه في الاتجاه نفسه حتى يصطدم بحائط أو حاجز أو يفقد قوة الدفع نتيجة لاحتكاكه بالهواء الموجود بالفراغ، وعندها يتغيّر اتجاه الهواء نحو منطقة الضغط المنخفض التي يحددها موقع نافذة خروج الهواء. أما عندما يكون دخول الهواء بزاوية مائلة فإن مفعول تخلخل الهواء داخل الفراغ تقل فعاليته كما هو واضح في الشكل رقم (٥,٦). ومن ناحية أخرى فقد أثبتت التجارب أنه في حالة وجود نافذة لخروج الهواء في الحائط المجاور لنافذة دخول الهواء فإن معدلات التهوية تكون أفضل (Givoni, 1981). والشكل رقم (٥,٧) يبين نتائج بعض التجارب التي أُجرِيَتْ لدراسة أثر مفعول دخول الهواء على سرعة وتوزيع الهواء داخل الفراغ لحجرة لها نافذة واحدة (Melaragno, 1982).



شكل رقم (٦ , ٥). حركة الهواء عندما يكون مخرج الهواء خارج الخط الأساسي للمدخل.

المصدر: Melaragno (1982). p. 337



شكل رقم (٥,٧). مفعول زاوية دخول الهواء على سرعته وتوزيعه داخل حجرة لها نافذة واحدة.

المصدر: Melaragno (1982). p. 322

(٥,٣,٢) مساحة النافذة

لقد تم إجراء العديد من التجارب المعملية لدراسة مفعول تغيير مساحة الفتحات الخاصة بدخول الهواء وخروجه. المجموعة الأولى من هذه التجارب تمت على نموذج له نافذة واحدة مُعَرّضَة إلى ثلاثة اتجاهات مختلفة من تيار الهواء الخارجي. في المرة الأولى كان اتجاه تيار الهواء الخارجي عموديا على نافذة دخول الهواء وفي المرة الثانية كان اتجاه تيار الهواء الخارجي بزاوية مائلة وفي المرة الثالثة كان اتجاه تيار الهواء الخارجي عموديا على الواجهة الخلفية بالنسبة لموقع النافذة. وقد أثبتت النتائج من هذه التجارب أن زيادة مساحة النافذة لها أثرها الواضح في زيادة سرعة الهواء كما هو واضح في الجدول رقم (٥,٢). أما المجموعة الثانية

من التجارب المعملية فقد تمت على نموذج به نافذتان في الواجهتين المتقابلتين لتوفير التهوية العرضية. وقد أثبتت النتائج من التجارب لهذه المجموعة أن سرعة الهواء تزداد كلما زادت مساحة نافذتي دخول الهواء وخروجه. وعندما تكون نافذة خروج الهواء أكبر من نافذة دخول الهواء فإن سرعة الهواء تكون عالية. والجدول (٣,٥) يعطي ملخصا لنتائج التجارب التي أُجْرِيَتْ لدراسة أثر تغيير مساحة نافذتي دخول الهواء وخروجه على المتوسط والحد الأعلى لسرعة الهواء داخل الفراغ كنسبة مئوية من سرعة الهواء الخارجي.

جدول رقم (٢,٥). مفعول زيادة مساحة النافذة على سرعة الهواء.

اتجاه تيار الهواء	نسبة عرض النافذة		
	١/٣	٢/٣	٣/٣
١ ـ عمودي على النافذة	٪١٣	٪١٣	٪١٦
٢ ـ مائل في مواجهة النافذة	٪١٢	٪١٥	٪٢٣
٣ ـ عمودي على الواجهة الخلفية للنافذة	٪١٤	٪١٧	٪١٧

المصدر: Givoni (1981). p. 291

جدول رقم (٣,٥). مفعول تغيير مساحة نافذتي دخول وخروج الهواء على متوسط سرعته.

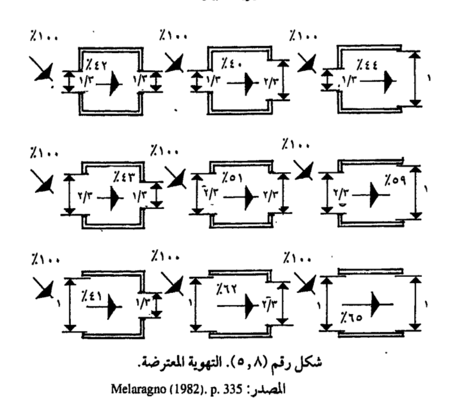
اتجاه الهواء	نسبة المساحة الفعلية لنافذة خروج الهواء	نسبة المساحة الفعلية لنافذة دخول الهواء					
		١/٣		٢/٣		٣/٣	
		متوسط	حد أعلى	متوسط	حد أعلى	متوسط	حد أعلى
عمودي	١/٣	٪٣٦	٪٦٥	٪٣٤	٪٧٤	٪٣٢	٪٤٩
	٢/٣	٪٣٩	٪١٣١	٪٣٧	٪٧٩	٪٣٦	٪٧٢
	٣/٣	٪٤٤	٪١٣٧	٪٣٥	٪٧٢	٪٤٧	٪٨٦
مائل	١/٣	٪٤٢	٪٨٣	٪٤٣	٪٩٦	٪٤٢	٪٦٢
	٢/٣	٪٤٠	٪٩٢	٪٥٧	٪١٣٣	٪٦٢	٪١٣١
	٣/٣	٪٤٤	٪١٥٢	٪٥٩	٪١٣٧	٪٦٥	٪١١٥

المصدر: Givoni (1981). p. 292

(٥,٣,٣) التهوية العرضية

إن مصطلح التهوية العرضية يطلق على تهوية الفراغ الداخلي بواسطة نافذتين إحداهما في منطقة الضغط العالي والثانية في منطقة الضغط المنخفض. يوضح الشكل رقم (٥,٨) متوسط سرعة الهواء في حالة وجود مدخل ومخرج للهواء في الحائطين المتقابلين لتوفير التهوية العرضية وذلك عندما يكون اتجاه الهواء غير عمودي على نافذة الدخول (Givoni, 1968). وقد أثبتت النتائج من هذه التجارب أن سرعة الهواء للتهوية العرضية تزداد مع زيادة مساحة نافذة دخول وخروج الهواء وتصل أعلى معدلاتها عندما تتساوى مساحة نافذتي دخول الهواء وخروجه. في هذه الحالة تكون سرعة الهواء داخل الفراغ حوالي ٦٥٪ من سرعة تيار الهواء الخارجي.

ونتيجة لزيادة مساحة نافذة دخول الهواء إلى ثلاثة أضعاف مساحة نافذة خروج الهواء تنخفض سرعة الهواء الداخلي لتصل إلى أدنى معدل لها وهي نسبة ٤١٪ من سرعة الهواء الخارجي. وفي المقابل تزداد سرعة الهواء الداخلي عند زيادة مساحة نافذة خروج الهواء إلى ثلاثة أضعاف مساحة نافذة دخول الهواء لتصل إلى أعلى معدل لها وهي نسبة ٤٤٪ من سرعة الهواء الخارجي. وقد تمّ القيام بعمل مجموعة أخرى من التجارب المعملية لدراسة مفعول زيادة مساحة نافذتي دخول الهواء وخروجه على سرعة الهواء داخل الفراغ. الجدول رقم (٥,٤) يعطى خلاصة عامة لنتائج هذه التجارب التي أُجْرِيَتْ على خمسة نماذج. النموذج الأول يحتوي على نافذة واحدة في منطقة الضغط العالي، والنموذج الثاني يحتوي على نافذة واحدة في منطقة الضغط المنخفض، والنموذج الثالث يحتوي على نافذتين في منطقة الضغط المنخفض، والنموذج الرابع يحتوي على نافذتين في واجهتين متجاورتين، إحداهما في منطقة الضغط العالي والثانية في منطقة الضغط المنخفض، والنموذج الخامس يحتوي على نافذتين في واجهتين متقابلتين، واحدة في منطقة الضغط العالي والثانية في منطقة الضغط المنخفض. وقد كان من أهم الملاحظات التي تمّ التوصل إليها من نتائج هذه التجارب أنه في حالة عدم وجود تهوية عرضية، فإن سرعة الهواء تكون منخفضة جدا خاصة عندما يكون اتجاه الرياح عموديا على نافذة دخول الهواء. أما في حالة وجود تهوية عرضية، فإن المتوسط والحد الأعلى لسرعة الهواء الداخلي يرتفعان أكثر من الضعف دون اللجوء إلى زيادة مساحة النافذة.



شكل رقم (٨ , ٥). التهوية المعترضة.

المصدر: Melaragno (1982). p. 335

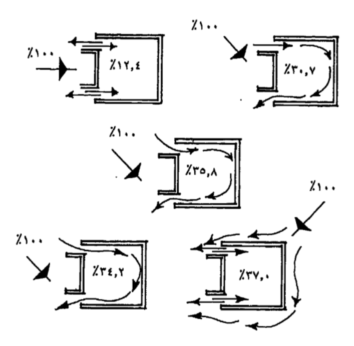
جدول رقم (٤ , ٥). مفعول التهوية العرضية على سرعة الهواء الداخلي.

نوعية التهوية	موقع النافذة	اتجاه تيار الهواء	نسبة المساحة الفعلية للنافذة			
			٢/٣		٣/٣	
			متوسط	حد أعلى	متوسط	حد أعلى
مع عدم وجود تهوية عرضية	نافذه واحدة في منطقة الضغط العالي.	عمودي	٪١٣	٪١٨	٪١٦	٪٢٠
		مائل	٪١٥	٪٣٣	٪٢٣	٪٣٦
	نافذة واحدة في منطقة الضغط المنخفض.	مائل	٪١٧	٪٤٤	٪١٧	٪٣٩
	نافذتان في منطقة الضغط المنخفض.	مائل	٪٢٢	٪٥٦	٪٢٣	٪٥٠
مع وجود تهوية عرضية	نافذتان على واجهتين متجاورتين.	عمودي	٪٤٥	٪٦٨	٪٥١	٪١٠٣
		مائل	٪٣٧	٪١١٨	٪٤٠	٪١١٠
	نافذتان على واجهتين متقابلتين.	عمودي	٪٣٥	٪٥٦	٪٣٧	٪١٠٢
		مائل	٪٤٢	٪٨٣	٪٤٢	٪٩٤

المصدر: Givoni (1981). p. 295

(٥,٣,٤) التهوية العرضيـــة المُستَحَثة

عندما تكون النوافذ أو الفتحات في واجهة واحدة فقط فإن معدل التهوية الطبيعية يكون محدودا جدا نسبة لوجود فوارق بسيطة بين ضغط الهواء الخارجي وضغط الهواء الداخلي. أما عندما يكون دخول الهواء بزاوية مائلة فإن ذلك يؤدي إلى زيادة حركة الهواء بالقرب من سطح الحائط ويتسبب في وجــود قــدر مــن التباين في ضغط الهواء داخل المبنى وبالتالي يؤدي إلى زيــادة سرعة الهواء. وفي حالة وجود مصد بارز عند نافذة دخول الهواء، وعندما يكون اتجاه دخول الهواء بزاوية مائلة فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاع سرعة الهواء الداخلي. وبما أن التباين في الضغط الهوائي يكون دائما بسيطا في هذه الحالة، فإن معدلات التهوية الطبيعية تكون قليلة. أمّا الخلاصة التي يمكن استنتاجها من نتائج هذه التجارب هــي أنــه يمكن زيادة كفاءة التهوية الطبيعية للمباني التي تكون لها واجهة خارجية واحــدة وذلك بعمل كاسرات ومصدات للهواء قرب النافذة، شريطة أن يكون اتجاه الرياح بزاوية مائلة على الواجهة تتراوح ما بين ٢٠° إلى ٧٠° (الشكل رقم ٩,٥).

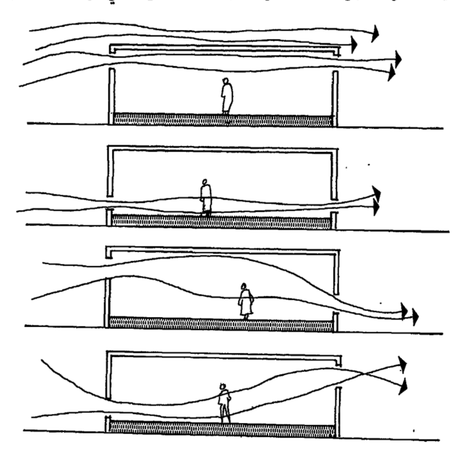


شكل رقم (٩,٥). زيادة سرعة الهواء بواسطة الأجزاء البارزة من النافذة.

المصدر: Melaragno (1982). p. 324

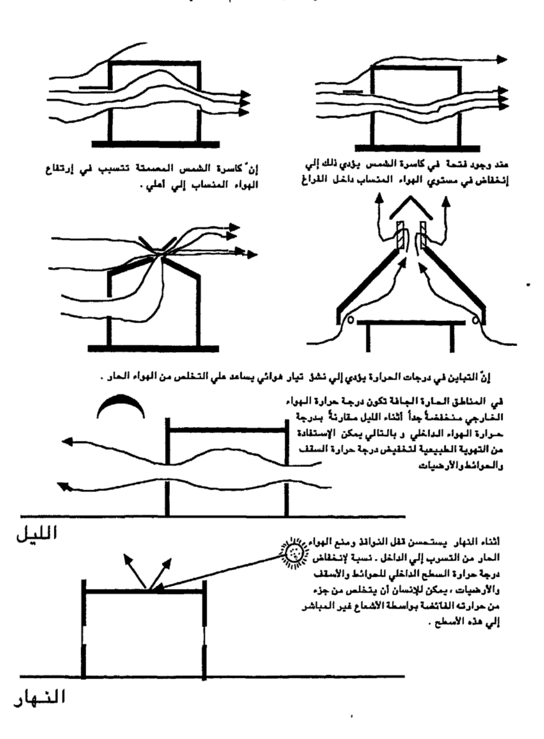
(٥,٣,٥) الموقع الرأسي للنافذة

لاشك أن هناك تباينا واضحا في سرعة واتجاه الهواء وحركته الأفقية مقارنا بسرعة واتجاه الهواء وحركته الرأسية. إن تحديد الموقع الرأسي الملائم لنـافـذتـي دخول الهواء وخروجه يساعد كثيرا في التحكم في مسار الهواء وتوزيعه الرأسي داخل الفراغ (الشكل رقم ١٠,٥). إن انسياب الهواء داخل الفراغ يعتمد أساسا على اتجاه الهواء وموقع دخوله وخروجه (الشكل رقم ١١,٥). ولـذلـك فـإن تصميم نافذة دخول الهواء وموقعها وموقع نافذة خروج الهواء من العناصر المهمة التي تحدد الكيفية التي ينساب بها الهواء داخل الفراغ. ولقد أثبتت بعض التجارب المعملية أن سرعة الهواء تحت مستوى عتبة النافذة للغرفة التي توجد بها تهـويـة



شكل رقم (١٠,٥). الموقع الرأسي للنافذة وأثره على حركة الهواء.

المصدر: Melaragno (1982). p. 324



شكل رقم (١١ ,٥). أثر اتجاه موقع دخول الهواء وخروجه.

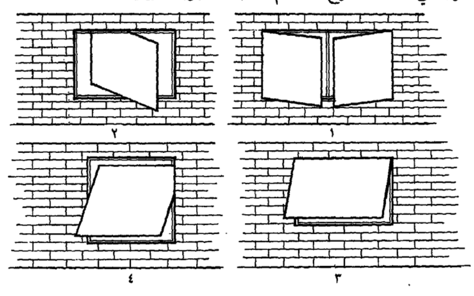
عرضيـة قد تنخفض بمعدل ٢٥٪ مقارنة بسرعة التيار الرئيسي للهواء. ولذلك فإن تغيير مستوى عتبة النافذة قد يتسبب في تغيير سرعة الهواء في مواقع أخرى كثيرة داخل الفراغ مع وجود تغيير طفيف في المتوسط العام لسرعة الهواء داخل الغرفة. إذا كان ارتفاع النافذة في غرفة المعيشة أعلى من مستوى الشخص الجالس، فـإن التهوية الطبيعية في هذه الحالة قد تكون رديئة للغاية في المنطقة المستعملة داخـل الفراغ إلا إذا تمّ علاجها بطرق أخرى. تكون سرعة الهواء أثناء الليل منخفـضـة جـدا في المناطق التي تتميز بالمناخ الحار، ويكون من الضروري زيادة سرعة الهواء من أجل الاستفادة القصوى من مفعول تبخر العرق من على سطح جسم الإنسان وللتخلص من تراكمات الرطوبة العالية داخل الفراغ في المناطق الحارة الرطـبة. في هـذه المناطق لابد من العناية والدقة في اختيار موقع الفتحات من أجل توفير أعلى قدر من سرعة الهواء داخل الفراغ.

(٦, ٣, ٥) تصميم وطريقة فتح النافذة

يمكن الحصول على التهوية الطبيعية داخل المباني بواسطة الفتحات المختلفة والتي عادة ما تكون في الغلاف الخارجي للمبنى. والنوافذ تُعتبر الوسيلة الشائعة الاستعمال لتوفير التهوية الطبيعية في كثير من المناطق على اختلاف مناخاتـهـا ونمطها العمراني. إن تصميم الطريقة التي تُفْتح بها النافذة تُعتبر من العوامل المهمة التي تؤثر على فعالية التهوية الطبيعية. عموما هنالك أربـعـة نُظم رئيسية لفتـح النافذة والتي تعتمد أساسا على طريقة تثبيت النافذة على الإطـار الخارجي. هذه النظم الأربعة والتي تؤثر على حركة الهواء داخل المبنى (الشكل رقم ١٢, ٥)، يُمكن تلخيصها كالتالي:

النـظـام الأول ويشمـل النوافـذ المثبتـة في الجوانب الـرأسية من الإطار الخارجي double hung، والنظام الـثاني يشمل النوافـذ المثبتة على المحور الـرأسي من الإطار الخارجي vertical pivot والنظام الثالث يشمل النوافذ المثبتة في الجانب الأفقي الأعلى من الإطـار top hung والنظام الـرابع يشمـل النوافذ المـثبتة فـي المحور الأفقي مـن الإطار horizontal pivot. إن مفعول النافذة المثبتة في الجوانب الرأسية من الإطار على التهوية الطبيعية يعتمد على الجـزء المفتوح منها، وعلى اتجاه الفتح وعلاقته باتجاه تيار الهواء الخارجي. إن فعالية التحكـم في حركة الهواء داخل المبنى بواسطة هذا النظام

يُعتبر محدودا للغاية. في حين أن النافذة المثبتة على المحور الرأسي تُعتبر ذات فعالية عالية جـدا في توجيه الهواء، خاصة إذا كان جزءٌ كبيرٌ من النافذة يمتد إلى خارج محيط المبنى. عند اصطدام الهواء بالجزء البارز من النافذة فإن ذلك يؤدي إلى زيادة كبيرة في سرعة الهواء ويـؤثر على اتجاهه. كذلك يمكن الاستفادة من هذا النوع من النوافـذ للحصول على التهوية الطبيعية لغرفة واحدة من المبنى دون التأثير على معدلات التهوية الطبيعية وحركة الهواء داخل المبنى ككل. أما النافذة المثبتة في الجانب الأفقي من الإطار فهي تساعد على توجيه حركة الهواء إلى السقف، وبالتالي فهي وسيلة فعالة للاستفادة من تيار الهواء الخارجي عندما تكون درجة حرارة الهواء الداخلي منخفضة جدا ودرجة حرارة الهواء الخارجي مرتفعة جدا، كما قد يحدث أثناء النهار في فصل الشتاء في بعض المناطق التي تتميّز بالمناخ الحار الجاف. أما النافذة المثبتة من مركزها الأفقي فهي أيضا فعّالة جدا في تحكمها في سرعة واتجاه الهواء داخل المبنى. بواسطة هذا النوع من النوافذ يمكن توجيه الهواء إلى أعلى في اتجاه السقف، أو إلى أسفل في اتجاه الأرض أو المرور في منتصف الفراغ بما يلائم متطلبات التهوية الطبيعية.



١ - نافذة مثبتة تثبيتا مزدوجا. ٢ - نافذة مثبتة من مركزها.
٣ - نافذة مثبتة من الجزء الأعلى. ٤ - نافذة مثبتة من مركزها.

شكل رقم (١٢ , ٥). النظم الرئيسية لفتح النافذة وتثبيتها وأثرها على توزيع الهواء.

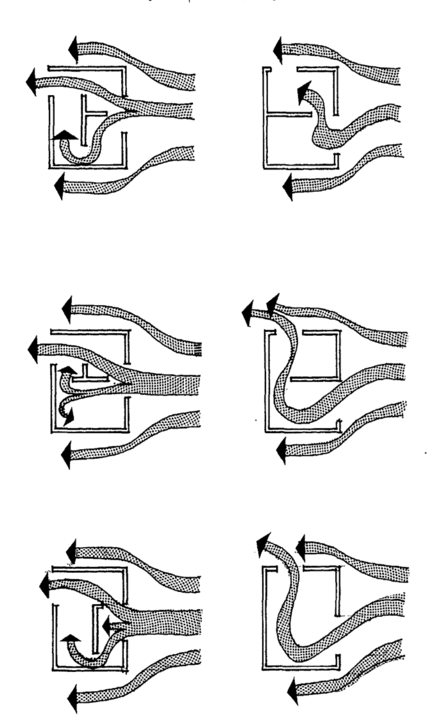
المصدر: Fisk (1981). p. 124

(٥,٣,٧) تصميم الفواصل الداخلية

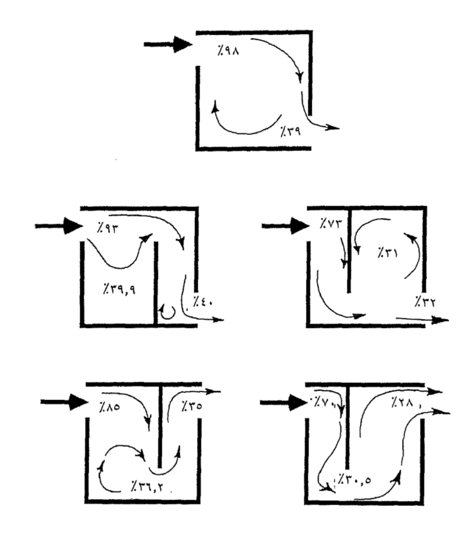
لقد تمّ إجراء العديد من التجارب المعملية لدراسة مفعول تصميم الفواصل الداخلية وتوزيعها على سرعة ونمط حركة الهواء داخل المباني (Givoni, 1968 and Melaragno, 1982) وقد أثبتت النتائج من هذه التجارب أن موقع الفواصل الداخلية بالنسبة لموقع نافذتي دخول الهواء وخروجه له أثره الواضح على سرعة الهواء وتوزيعه داخل الفراغ (الشكل رقم ٥,١٣). بالنسبة للتجارب المعملية التي تم إجراؤها كان اتجاه دخول الهواء عموديا وقد أُخذت القياسات في مستوى منتصف النافذة، والشكل رقم (٥,١٤) يوضح تباين سرعة الهواء نتيجة لوجود الفواصل الداخلية.

(٥,٣,٨) الشبك السلكي المثبت على النافذة

إن وجود الشبك السلكي الواقي من الحشرات والأتربة والعواصف الرملية يُعتبر ضروريا جدا خاصة في المناطق الاستوائية والمدارية التي تكثر فيها الحشرات والعواصف الرملية. إن وجود الشبك السلكي المثبت على إطار النافذة يؤدي إلى انخفاض واضح في سرعة الهواء الذي يدخل عبر النافذة خاصة إذا كانت السرعة الأساسية للهواء ضعيفة جدا. ولقد أثبتت نتائج التجارب أن مفعول الشبك السلكي يعتمد أساسا على الأثر المشترك لاتجاه الرياح وعدد النوافذ الخاصة بدخول الهواء وموقعها (Givoni, 1981). يكون معدل انخفاض سرعة الهواء أكبر بالنسبة للهواء الذي يدخل بزاوية مائلة بالمقارنة لمعدل انخفاض سرعة الهواء الذي يدخل بزاوية عمودية. ولقد لجأ بعض المصممين إلى تثبيت الشبك السلكي على واجهة البلكونة بدلا من تثبيته على الإطار الخاص بالنافذة نفسها. في هذه الحالة يتمكن الهواء من الدخول عبر مساحة كبيرة من الشبك السلكي ومن ثَمّ يتجمع ليدخل من خلال النافذة الحرة الخالية من أي عائق، وبالتالي يعطي معدلات أكبر من التهوية الطبيعية بالمقارنة لتلك التي يمكن الحصول عليها عند تثبيت الشبك السلكي على إطار النافذة.



شكل رقم (١٣ , ٥). النمط العام لحركة الهواء نتيجة للفواصل الداخلية.
المصدر: Melaragno (1982). p. 325

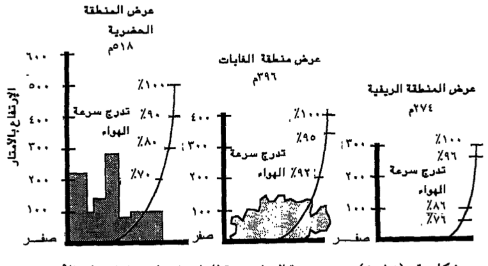


شكل رقم (١٤ , ٥). التباين في سرعة الهواء نتيجة للفواصل الداخلية.
المصدر: Melaragno (1982). p. 327

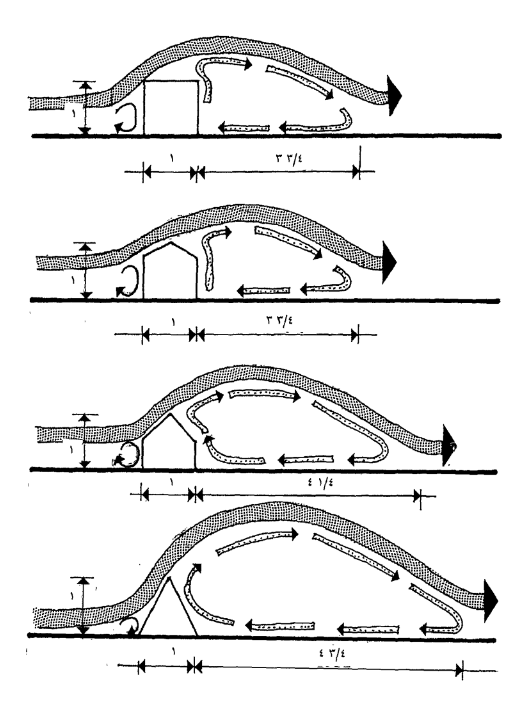
(٩ , ٣ , ٥) التخطيط العام للموقع وعلاقته بحركة الهواء

إن حركة الهواء داخل المدن تتفاعل وتتأثر بالغطاء الطبيعي «التخطيط الحضري للموقع». هنالك عناصر عديدة تؤثر على سرعة الرياح على سطح الأرض واتجاهها والتي تؤثر بدورها على معدلات التهوية الطبيعية داخل المباني. إن سرعة الهواء بالقرب من سطح الأرض تكون منخفضة مقارنة بسرعة الهواء في المستويات العليا للفضاء الخارجي. لاشك أن معدل انخفاض سرعة الهواء بالقرب من سطح

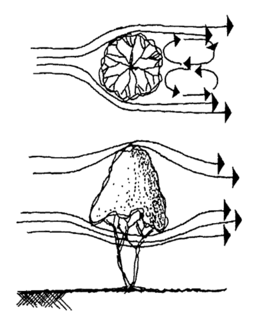
الأرض يعتمد على طبوغرافية السطح ومفعول احتكاك الهواء بالمباني. الشكل رقم (١٥ , ٥) يبين كيف تتأثر سرعة الهواء في ثلاثة مواقع. الموقع الأول يمثل المناطق الريفية المفتوحة، والموقع الثاني يمثل المناطق شبه الحضرية والتي تحتوي على بعض المباني المتفرقة والقليلة الارتفاع، والموقع الثالث يمثل المناطق الحضرية والتي تحتوي على كثافة عالية من المباني الشاهقة. وبما أن معدلات سرعة الهواء التي توفرها مصالح الأرصاد في البلدان المختلفة غالبا مايتم تسجيلها في محطات توضع في مستويات مرتفعة، فإن معدلات السرعة المسجلة تكون أعلى من سرعة الهواء الحقيقية داخل المناطق الحضرية العالية الكثافة. ويمكن تقدير السرعة الحقيقية للهواء في هذه المناطق بواسطة المنحنيات المُبيّنة في الشكل. كذلك فإن الشكل العام للمبنى يلعب دورا مهما في تشكيل حركة الرياح حول المبنى ويتفاعل مع اتجاه الرياح ليحدد مناطق الضغط العالي والضغط المنخفض حوله كما هو واضح في الشكل رقم (١٦ , ٥). إن تحديد مناطق الضغط العالي والضغط المنخفض يساعد المصمم المعماري في اختيار الموقع الأمثل لدخول الهواء وخروجه من أجل الحصول على أعلى المعدلات من التهوية الطبيعية. فإذا نظرنا إلى شجرة واحدة فإنّ حركة الهواء حولها تأخذ شكلا معينا، وفي حالة إضافة شجيرة صغيرة مرة في مواجهة الهواء وأخرى في الجهة الخلفية لاتجاه الهواء ينشأ التباين الواضح في حركة الهواء (الشكل رقم ١٧ , ٥).



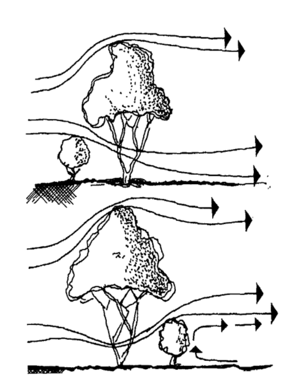
شكل رقم (١٥ , ٥). تدرج سرعة الهواء نتيجة للتباين في طبوغرافية سطح الأرض.
المصدر: Konya (1984). p. 36.



شكل رقم (١٦ , ٥). عرض المبنى وأثره على حركة الرياح.
المصدر: Melaragno (1982). p. 348



الشكل يوضح انكسار الهواء بواسطة الأشجار، ويؤدي ذلك إلى زيادة سرعة الهواء تحت ظل الشجرة، مع وجود منطقة محمية من الهواء خلف أوراق الشجرة.



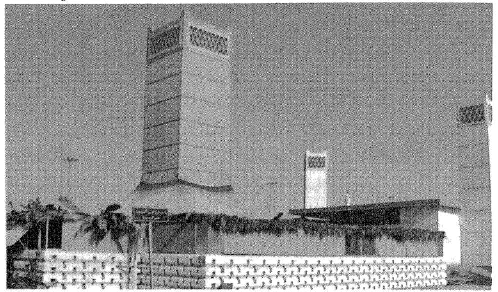
الشكل يوضح وجود شجيرات صغيرة بالقرب من شجرة كبيرة ويؤدي إلى زيادة سرعة الهواء بالقرب من سطح الأرض إذا كانت الشجيرات في المقدمة بالنسبة لاتجاه الرياح. ويؤدي ذلك إلى زيادة سرعة الهواء مع ارتفاعه إلى أعلى إذا كانت الشجيرات خلف الشجرة بالنسبة إلى اتجاه الرياح مع وجود منطقة محمية خلف الشجيرات مباشرة.

شكل رقم (١٧ , ٥). مفعول موقع الأشجار على حركة الهواء.

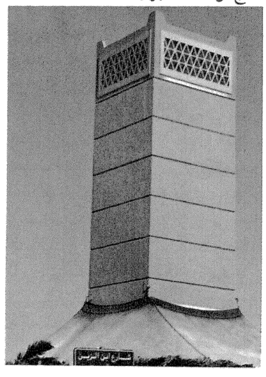
المصدر: Melaragno (1982). p. 345

(٤ , ٥) الملاقف الهوائية

من الحلول الجيدة للتهوية الطبيعية في العمارة التقليدية استعمال الملاقـف الهوائية (الصورتان ٣ , ٥ و٤ , ٥). وقد انتشر استعمال الملاقف الهوائية في المناطق

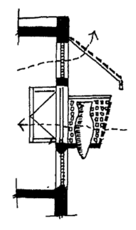


صورة رقم (٣ , ٥). نماذج من الملاقف الهوائية

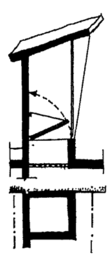


صورة رقم (٤ , ٥). تفصيلة لفتحة الملقف الهوائي، العليا ـ الرياض.

الحارة لزيادة فعالية التهوية الطبيعية والتحكم في سرعة الهواء وتوزيعه داخل المباني. ولقد امتد استعمال الملاقف الهوائية من الهند والباكستان شرقا مرورا بإيران وأفغانستان ودول الخليج العربي إلى شمال أفريقيا غربا. فقد استعمل الملقف الهوائي في المناطق ذات المناخ الحار الرطب في الكويت وقطر والبحرين ودولة الإمارات العربية المتحدة وفي المناطق ذات المناخ الحار الجاف في العراق وإيران (Konya, 1984). وقد اختلفت الملاقف الهوائية في شكلها وتصميمها وارتفاعها ولكن الهدف الأساسي منها ظل ثابتا، وهو التقاط الهواء النقي والبارد نسبيا والموجود في الطبقات العليا من الفضاء الخارجي وجعله ينساب عبر الفراغات الداخلية بواسطة ممر هوائي رأسي محاط بجدار سميك يتميّز بسعة حرارية عالية. قد يكون الملقف الهوائي ثابت التوجيه وفي مواجهة الرياح المحببة أو له عدة اتجاهات ثابتة أو مزود بمدخل للهواء مرتكز على محور يمكن التحكم في توجيهه إلى مختلف الاتجاهات على حسب اتجاه الرياح المفضلة. وبما أن الممر الهوائي للملقف لا يتعرض إلى أشعة الشمس المباشرة ومحاط بجدار سميك يتميّز بسعة حرارية عالية فإنه يظل منخفض الحرارة مما يساعد في خفض درجة حرارة الهواء الذي يمر من خلاله. بعض الملاقف الهوائية كانت تزود بشبك من السلك الناعم أو الخيش لتنقية الهواء من الأتربة والشوائب الأخرى كالحشرات والطيور، وبعضها الآخر كان يُزود أيضا بكميات من الفحم المحروق الذي يساعد على امتصاص الروائح الكريهة من الهواء. أما في المناطق التي تتميّز بالمناخ الحار الجاف فإن الفرصة تكون سانحة للاستفادة من عملية تبخر الماء في خفض درجة حرارة الهواء المنساب عبر الممر الهوائي. يتم في هذه الحالة وضع جرة فخارية بها ماء في الممر الهوائي وعندما يمر الهواء الجاف ويلامس سطح الجرة يتبخر الماء وتنخفض درجة حرارة الهواء وترتفع نسبة الرطوبة وبالتالي يساعد في تلطيف مناخ الفراغ الداخلي (الشكل رقم ١٨ ,٥). ومن أجل الاستفادة القصوى من التهوية الطبيعية بواسطة الملاقف الهوائية لابد من دراسة حركة الرياح، اتجاهها وخصائصها (Al-Megren, 1987). في مصر كان الملقف الهوائي يُوجّه لالتقاط الرياح الشمالية الغربية ويُغطى بسقف مائل ٣٥° لكي يساعد في دفع الهواء إلى داخل المبنى. يندفع الهواء من الخارج ويدخل إلى الفراغ الرئيسي من المبنى كالصالة الرئيسية أو الفناء الداخلي ومن ثم يتوزع على بقية الفراغات الداخلية كما هو واضح في الشكل رقم (١٩ ,٥). في العراق يُعرف الملقف الهوائي بالبادجير، وهو

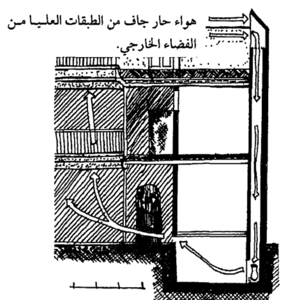


جرة بها ماء، عند مرور الهواء عليها يتبخر الماء فتنخفض درجة حرارته وترتفع نسبة الرطوبة.



شبك نملي لتنقية الهواء من الأتربة والشوائب ومنع الطيور والحشرات من الدخول إلى المبنى.

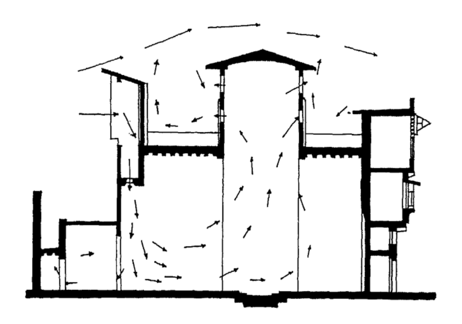
هواء حار جاف من الطبقات العليا من الفضاء الخارجي.



جرة لحفظ الماء المتساقط لاستعماله في ري النباتات.

شكل رقم (١٨ , ٥). الملقف الهوائي الذي استعمل في المناطق الحارة الجافة.

المصدر: Konya (1984). p. 56



شكل رقم (٥,١٩). الملقف الهوائي الذي استعمل في مصر.
المصدر: فتحي (١٩٨٨). ص ١٦٩.

عبارة عن عدة فراغات أو تجويفات صغيرة في الحائط الرئيسي (١٥٠ x ٥٠٠ مليمتر تقريبا) وتكون مفتوحة على ارتفاع يتراوح ما بين ١٨٠٠ إلى ٢١٠٠ مليمتر فوق مستوى السقف ولها غطاءٌ مائل ٤٥° ليساعد في دفع الهواء إلى الداخل. وبالنسبة للمنازل القديمة في العراق والتي تحتوى على الفناءات المفتوحة، عادة ماتكون مزودة بالعديد من الملاقف الهوائية التي تساعد على التقاط النسيم ودفعه إلى الطوابق السفلى من المنزل، خاصة الغرف التي تقع تحت مستوى سطح الأرض والتي عادة ما تُسْتَعمل في فترات الظهيرة في فصل الصيف الحار (الشكل رقم ٥,٢٠). أما في إيران فكان البادجير يحتوي على العديد من الممرات الهوائية التي لها فتحات في اتجاهات مختلفة حيث تُستعمل الفتحة المواجهة لاتجاه الرياح المفضلة كمدخل للهواء في حين تستعمل الفتحة المدابرة لاتجاه الرياح كمخرج للهواء كما هو واضح في الشكل رقم (٥,٢١). كان البادجير يُصمم لتهوية الغرف التي تكون تحت مستوى الأرض ومن ثمّ ينساب الهواء إلى الفراغات الأخرى (Tavassoli, 1982). بالإضافة إلى وظيفته الأساسية، فقد استعمل الملقف

الهوائي في إيران لتبريد المـياه في الخزانات التي توجد تحت مستوى سطح الأرض كما هو مبين في الشكل (٥,٢٢). أما في دول الخليج فقد انتشر استـعـمـال البادجير نتيجة لهجرة بعض التجار من جنوب إيران واستيطانهم في سواحل هذه الدول. نسبة لعدم إمكانية البناء تحت مستوى الأرض نتيجة لارتفاع منسوب المياه الجوفية في هذه المناطق، فقد اقتصر استعمال البادجير على تهوية الغـرف فـوق مستوى الأرض. كما استعمل البادجير لتهوية المباني السكنية في أفغانستان كما هو واضح في الشكل رقم (٥,٢٣). أما في الباكستان فقد استعمل الملقف الهوائي أو البادجير خلال القرون الخمسة الماضية، حيث كان يتم توجيهه نـحـو الـريـاح المفضلة، ويؤدي ذلك إلى دخول الهواء النقي والبارد نسبيا من الطبقات العليا من الفضاء إلى الفراغات الداخلية وخروجه عبر النوافذ (الشكل رقم ٥,٢٤). أمـا عندما يتغير اتجاه الرياح ويمر من خلف فتحة الملقف فإنه يتسبب في سحب الهواء من الداخل، ويؤدي ذلك إلى انخفاض في ضغط الهواء داخل الممر الهـوائـي الخاص بالملقف، وبالتالي يؤدي ذلك إلى جذب الهواء من الخارج عبر النوافـذ. ونتيجة لاستعمال هذا النوع من الملاقف الهوائية في حيدر أباد فقد انخـفـضـت درجة حرارة الهواء من ٤٩°م إلى ٣٥°م في فصل الصيف من شهر إبريل إلى شهر يونيو (Melaragno, 1982). ولقد تم استعمال الملقف الهوائي في كثير من المباني المعاصرة، منها على سبيل المثال محاولات المهندس حسن فتحي الـرائـدة فـي استعمال الملقف الهوائي لتهوية فيلا سكنـية بالممـلكة العربية السعودية (الشكل رقم ٥,٢٥) (فتحي، ١٩٨٨م). أما الملقف الهوائي لمشروع قرية النيل للاحتفالات بالأقصر يُعتبر مثالا جيدا لكيفية استعمال الملاقف الهوائية لتهوية المباني الكبيرة (الشكل رقم ٥,٢٦) بهدف تغيير اتجاه حركة الهواء داخل المبنى ليصير عـكـس اتجاهه الخارجي، وقد كان ذلك ضروريا بحيث يأتي الهواء للمتفرجين من أمـامهم وليس من خلفهم.

وللملقف الهوائي العديد من الفوائد والمميزات نذكر منها على سبيل المثال لا الحصر النقاط التالية (Al-Megren, 1987) :

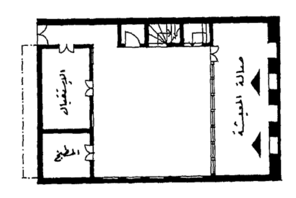
(ا) يساعد الملقف الهوائي في توفير التهوية الطبيعية وذلك بالتقاط الرياح المفضلة وجعلها تنساب عبر الفراغات الداخلية بصرف النظر عن التوجيه الـعـام للمبنى وعلاقته باتجاه الرياح.

(ب) يساعد الملقف الهوائي على التقاط الهواء النقي الخالي من الأتربة والشوائب الأخرى من الطبقات العليا من الفضاء الخارجي، في حين أن التهوية الطبيعية بواسطة النافذة قد تؤدي إلى دخول الأتربة وذرات الرمال والتي عادة ماتنتشر بالقرب من سطح الأرض خاصة في المناطق الحارة.

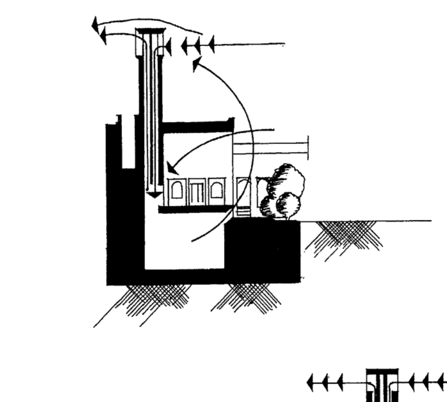
(جـ) يساعد الملقف الهوائي على التقليل من الإزعاج والضوضاء من الخارج والتي قد تصاحب التهوية الطبيعية بواسطة النافذة.

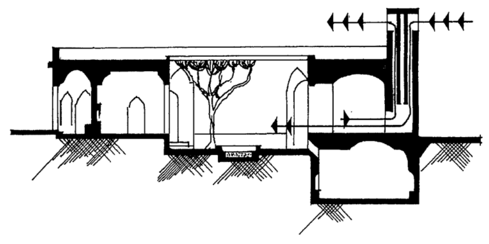
(د) بما أن سرعة الهواء في الطبقات العليا من الفضاء الخارجي غالبا ما تكون أعلى من سرعة الهواء القريب من سطح الأرض، فإن الملقف الهوائي وبحكم ارتفاعه في الفضاء الخارجي يوفر تهوية طبيعية جيدة ويساعد في زيادة سرعة الهواء.



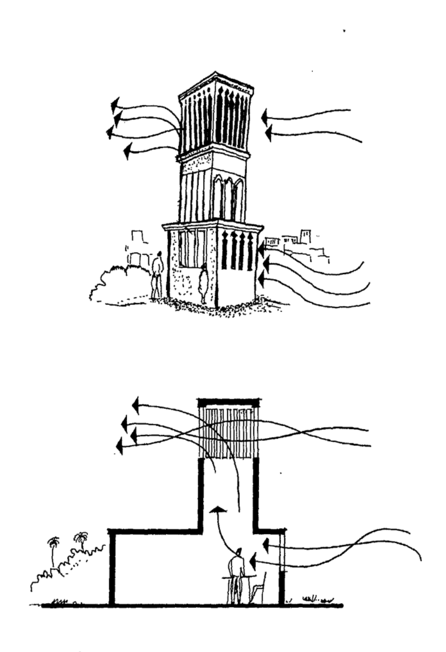


شكل رقم (٢٠, ٥). الملقف الهوائي الذي استعمل في العراق.
المصدر: المقرن (١٩٨٩م). ص ٤٧.

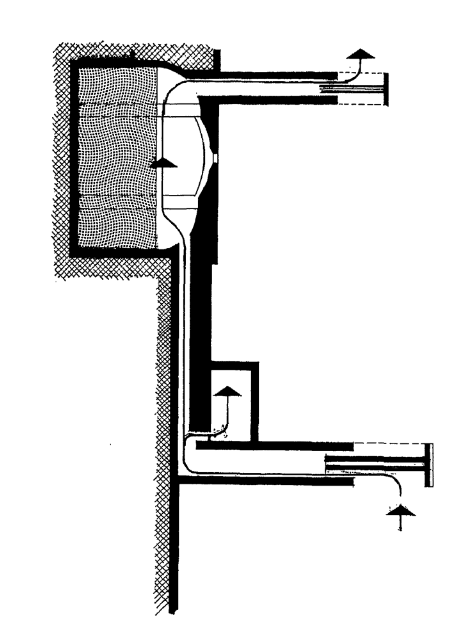




شكل رقم (٢١ ,٥ ١). الملقف الهوائي المتعدد الاتجاهات في إيران.
المصدر: المقرن (١٩٨٩م). ص ٥٦.

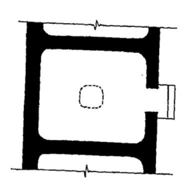


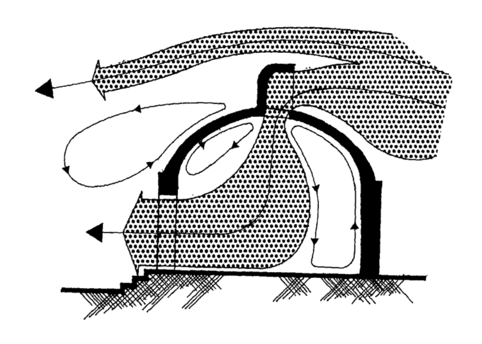
شكل رقم (٢١,٥ ب). الملقف الهوائي متعدد الاتجاهات في إيران ودولة الإمارات العربية المتحدة.



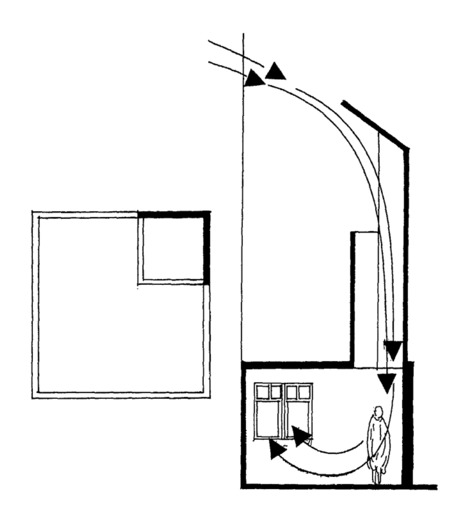
شكل رقم (٢٢,٥). اللقف الهوائي الذي كان يستعمل لتبريد المياه.

المصدر: Tavassoli (1982). p. 92.





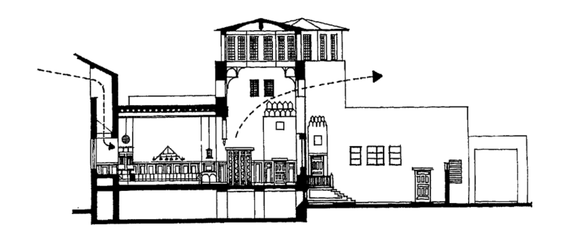
شكل رقم (٢٣, ٥). الملقف الهوائي الذي كان يستعمل في أفغانستان.
المصدر: Tavassoli (1982). p. 87

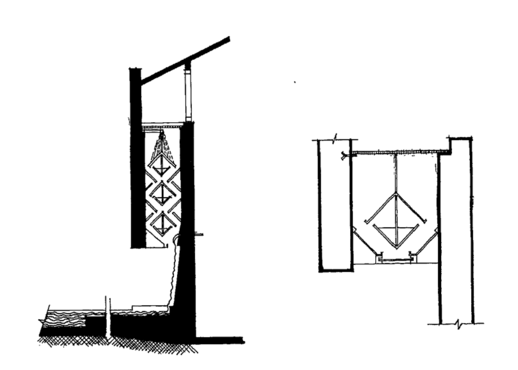


الملقف الهوائي الذي استعمل في حيدر أباد ـ الباكستان خلال العقود الخمسة الماضية. كان يتم توجيه فتحة الملقف باتجاه الرياح المفضلة، فيدخل الهواء عبر الملقف ويخرج من خلال النوافذ. وعندما يكون اتجاه الهواء عكس اتجاه فتحة الملقف تؤدي حركة الهواء إلى وجود انخفاض في الضغط عند فتحة الملقف، ويؤدي ذلك إلى سحب الهواء من الداخل.

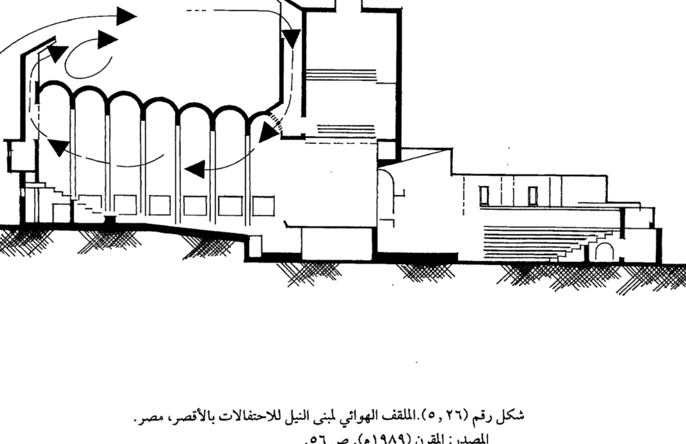
شكل رقم (٢٤, ٥). الملقف الهوائي الذي كان يستعمل في الباكستان.

المصدر: Melaragno (1982). p. 339





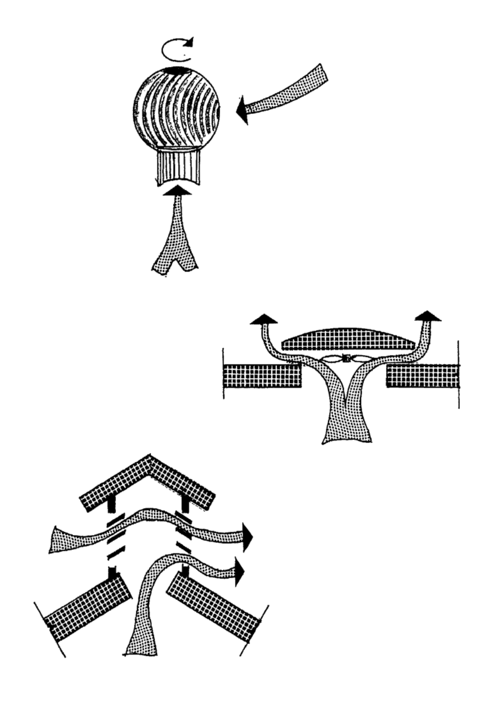
شكل رقم (٥,٢٥). الملقف الهوائي الذي استعمل لتهوية فيلا حديثة بالمملكة العربية السعودية.
المصدر: فتحي (١٩٨٨م). ص ١٨٠.



شكل رقم (٢٦ ,٥). الملقف الهوائي لمبنى النيل للاحتفالات بالأقصر، مصر.
المصدر: المقرن (١٩٨٩م). ص ٥٦.

(٥,٥) وحدات التهوية الطبيعية Natural Ventilator

ظهرت في العمارة المعاصرة بعض الحلول التي أثبتت فعاليتها في رفع معدلات التهوية الطبيعية، ومن هذه الحلول وحدات التهوية الطبيعية التي انتشر استعمالها في المباني عامة والصناعية منها خاصة. وتعتمد وحدات التهوية الطبيعية أساسا على قوة الدفع الحراري الناتج من التباين في درجات حرارة الهواء. عندما يكون هنالك تباين واضح بين درجة حرارة الهواء في المستويات المختلفة من المبنى، حيث تكون درجة حرارة الهواء في المستويات المنخفضة أعلى من درجة حرارة الهواء في المستويات العليا، يؤدي ذلك إلى ارتفاع الهواء الحار إلى أعلى نتيجة لانخفاض كثافته. وفي حالة وجود مخرج في المستويات العليا من غلاف المبنى يتسرب الهواء الحار إلى الخارج ويؤدي ذلك إلى انخفاض واضح في الضغط داخل المبنى مما يساعد في عملية سحب الهواء البارد نسبيا من الخارج وبالتالي يساعد في عملية التهوية الطبيعية. ومن أجل زيادة سرعة الهواء المتسرب إلى الخارج استُحْدثَت وحدات التهوية الطبيعية والتي عادة ما توضع في المستويات العليا من السقف كما هو واضح في الشكل رقم (٥,٢٧). وفي الحالات التي تكون فيها قوة الدفع الحراري غير كافية يمكن استعمال المراوح والتربينات الهوائية من أجل زيادة سرعة سحب الهواء إلى خارج المبنى. كما أنه يمكن الاستفادة من تيار الهواء الخارجي للمساعدة في عملية سحب الهواء، وبالتالي زيادة سرعة خروج الهواء عبر وحدات التهوية الطبيعية دون اللجوء إلى استعمال المراوح.



شكل رقم (٢٧ , ٥). وحدات التهوية الطبيعية التي انتشر استعمالها في المباني الصناعية المعاصرة.

الملاحق

اختيار أجهزة التبريد والتدفئة

لا شك أنّ هذا الموضوع ليس من اختصاص المهندس المعماري، ولكن كان من الضروري التطرق له وبصورة مختصرة لمساعدة طلاب العمارة في استيعاب أساسيات التبريد والتدفئة. ومن أجل الحصول علي معلومات مفصلة وأكثر دقة، ينصح بالرجوع إلي الكتب المتخصصة في هذا المجال.

بشكل عام ينقسم الحَمْل الحراري إلى قسمين رئسيين (Koenigsberger, 1973):

(ا) حساب الحَمْل الحراري المكتسب.

(ب) حساب الحَمْل الحراري المفقود.

١- حساب الحَمْل الحراري المكتسب

إنّ الهدف الأساسي من حساب الحَمْل الحراري المكتسب هو اختيار جهاز التبريد المناسب والذي يوفر الراحة الحرارية المطلوبة خلال الفترة الحارة. ولشرح مختصر للطريقة التي يمكن أن تتم بها هذه العملية يستحسن إعطاء المثال الآتي:

مثال

غرفة مكتب مربعة الشكل ٥ × ٥ متر وارتفاع ٢,٥ متر في منتصف مبنى متعدد الأدوار وله حائط واحد مُعرّض للمناخ الخارجي، وهو الحائط الجنوبي، في حين أنّ الحوائط الثلاثة الأخرى مشتركة. ومعدل التهوية المطلوب هو تغيير هواء المكتب ثلاث مرات لكل ساعة. أمّا الإضاءة الاصطناعية فهي عبارة عن أربع لمبات، قوة كل لمبة = ٧٥ واط، ويعمل بالمكتب أربعة موظفين. الحائط الجنوبي يحتوي على نافذة زجاجية مقاسها ٥ , ١ × ٥ = ٧,٥ متر مربع. وإذا افترضنا أنّ معامل انتقال الحرارة الكلي للزجاج = ٤,٤٨ واط/ متر مربع - درجة مئوية، وأنّ

معامل انتقال الحرارة الكلي للحائط الخرساني = ١,٣٥واط/ متر مربع - درجة مئوية. ومساحة الحائط الجنوبي = ٥ × ١ = ٥ متر مربع.

لنفترض أنّ درجة حرارة الهواء الخارجي = ٣٤°م.

وأن درجة الحرارة المطلوبة للهواء الداخلي = ٢٤°م.

أشعة الشمس = ٧٥٠ واط / متر مربع.

معامل الامتصاص الحراري للحائط α = ٠,٤ .

معامل التوصيل الحراري للسطح الخارجي (f) = ١٠ واط/ متر مربع- درجة مئوية.

معامل الكسب الحراري نتيجة لأشعة الشمس θ = ٠,٧٥ .

الحـــل

الفرق في درجات الحرارة δT = ٣٤ - ٢٤ = ١٠°م.

هذا الفرق يستعمل في حساب الكسب الحراري بواسطة التوصيل عبر الزجاج والكسب الحراري الناتج من التهوية الطبيعية . أمّا بالنسبة للأسطح غير الشفافة (الحائط الخرساني) فيجب استعمال المفعول المشترك لدرجة حرارة الهواء وأشعة الشمس المباشرة sol-air temperature، والذي يتم حسابه كالآتي:

$$Ts = \frac{٧٥٠ \times ٠,٤}{١٠} + ٣٤ = ٦٤°م.$$

وبالتالي يكون الفرق في درجة الحرارة بالنسبة للحائط =

dT = ٦٤ - ٢٤ = ٤٠°م.

الكسب الحراري بواسطة التوصيل = Qc

(مساحة الزجاج × معامل إنتقال الحرارة الكلي × الفرق في درجة الحرارة) + (مساحة الحائط غير الشفاف × معامل انتقال الحرارة الكلي × الفرق في درجة الحرارة).

(٧,٥ × ٤,٤٨ × ١٠) + (٥ × ١,٣٥ × ٤٠) = ٣٤٦ + ٢٦٦ = ٦١٢واط.

الكسب الحراري بواسطة الإشعاع = Qs

(مساحة الزجاج x معدل الإشعاع x معامل الكسب الحراري نتيجة لأشعة الشمس)

٧,٥ × ٧٥٠ × ٠,٧٥ = ٤٢١٩ واط.

الكسب الحراري نتيجة للتهوية الطبيعية = Qv

حجم المكتب = ٥ × ٥ × ٢,٥ = ٦٢,٥ متر مكعب.

معدل تغيير الهواء = $\frac{٦٢,٥ \times ٣}{٣٦٠٠}$ = $\frac{١٨٧,٥}{٣٦٠٠}$ = ٠,٠٥٢

(الحرارة النوعية الحجمية للهواء × معدل تغيير الهواء × الفرق في درجات الحرارة)
= ١٣٠٠ × ٠,٠٥٢ × ١٠ = ٦٧٦ واط.

الكسب الحراري الداخلي = Qi

الكسب الحراري الداخلي يشمل الحرارة الناتجة من لمبات الإضاءة الأربع، إضافة إلى الحرارة المكتسبة من الموظفين الأربعة. وعلى افتراض أن معدل إنتاج الحرارة من كل موظف = ١٤٠واط. يكون الناتج الكلي للحرارة الداخلية =
(٤ × ٧٥) + (٤ × ١٤٠) = ٣٠٠ + ٥٦٠ = ٨٦٠ واط.

وبالتالي يمكن كتابة معادلة الاتزان الحراري =

$$صفر = Qi - Qv - Qs - Qc - Qm$$

$$Qm = Qi + Qv + Qs + Qc$$

حيث

Qm = كفاءة جهاز التبريد.

Qi = الكسب الحراري من الأجهزة والمعدات والأشخاص داخل الفراغ.

Qv = الكسب الحراري نتيجة للتهوية الطبيعية.

Qc = الكسب الحراري نتيجة للتوصيل.

Qs = الكسب الحراري نتيجة لأشعة الشمس المباشرة.

وبالتعويض في المعادلة السابقة:

Qm = ٦١٢ +٤٢١٩ + ٦٧٦ + ٨٦٠ = ٦٢٦٧

وبالتالي تكون كفاءة الجهاز المطلوبة من أجل التبريد = ٦,٣ كيلواط تبريد.

التبريد بواسطة الهواء البارد

إذا كانت الوسيلة المستعملة للتبريد هي الهواء، في هذه الحالة يكون المطلوب هو تحديد معدل تغيير الهواء الداخلي بهواء بارد من جهاز التبريد. وإذا افترضنا أنّ درجة حرارة الهواء الخارج من جهاز التبريد هي ٢٠°م، ودرجة حرارة الهواء

الراجع هي ٢٤ °م.
الفرق في درجة الحرارة = ٢٤ - ٢٠ = ٤ °م.
كمية الحرارة التي يجب التخلص منها، كما في المثال الأول، Qv = ٦٣٠٠ واط.
كمية الحرارة التي يجب التخلص منها بواسطة ضخ الهواء البارد (راجع الفصل الخامس) = الحرارة النوعية الحجمية للهواء x معدل التهوية x الفرق في درجات الحرارة

Qv = ١٣٠٠ × V × ٤ = ٦٣٠٠

V = ٦٣٠٠ / ٥٢٠٠ = ١,٢ متر مكعب / ثانية

ومن أجل راحة الإنسان يجب أن تكون سرعة الهواء في حدود ٢ متر/ ثانية.
وعليه يمكن حساب مساحة مخرج الهواء البارد كالتالي:

معدل التهوية المطلوبة / معدل سرعة الهواء

١,٢ / ٢ = ٠,٦ متر مربع.
= ٦٠٠ × ١٠٠٠ مم.

٢ ـ حساب الحَمْل الحراري المفقود

إن الهدف الأساسي من حساب الحَمْل الحراري المفقود هو اختيار الجهاز المناسب للتدفئة. ولشرح الطريقة المختصرة لهذه العملية يمكن إعطاء المثال التالي:
المعطيات نفسها في المثال الأول، إضافة إلي الآتي:
درجة حرارة الهواء الخارجي = ٤ °م.

الحل

وإذا افترضنا عدم وجود أشعة الشمس، تكون معادلة الاتزان الحراري كالآتي:

$$Qi - Qc - Qv + Qm = \text{صفر}$$

$$Qm = Qv + Qc - Qi$$

الفرق في درجة حرارة الهواء = ٢٤ - ٤ = ٢٠ °م.
معدل تدفق الحرارة بواسطة التوصيل Qc عبر الحائط والنافذة =
(مساحة الحائط × معامل انتقال الحرارة الكلي × الفرق في درجة الحرارة) +
(مساحة النافذة × معامل انتقال الحرارة الكلي × الفرق في درجة الحرارة)
(٢٠ × ٤,٤٨ × ٧,٥) + (٢٠ × ١,٣٥ × ٥)
١٣٥ + ٦٧٢ = ٧٠٧ واط
معدل الكسب الحراري الداخلي كما في المثال الأول Qi = ٨٦٠ واط
معدل فقدان الحرارة نتيجة للتهوية الطبيعية = Qv
السعة الحرارية للهواء × معدل تغيير الهواء × الحرارة النوعية الحجمية للهواء
١٣٠٠ × ٠,٠٥٢ × ٢٠ = ١٣٥٢ واط
وبالتالي Qm = ٨٦٠ - ٧٠٧ + ١٣٥٢ = ١١٩٩ واط
وبالتالي يكون الجهاز المناسب للتدفئة = ١,٢ كيلواط.

التدفئة بواسطة الهواء الحار.

في المثال الثاني كان معدل الحرارة المطلوبة هو ١,٢ كيلواط = ١٢٠٠ واط.
وهنا أيضا يمكننا افتراض أن درجة حرارة الهواء الراجع إلى جهاز التدفئة = ٢٠ °م.
وفي حالة استعمال الهواء للتدفئة يجب أن تكون درجة حرارة الهواء القادم من الجهاز في حدود ٣٠ °م.
الفرق في درجة الحرارة = ٣٠ - ٢٠ = ١٠ °م.
Qv = ١٣٠٠ × V × ١٠ = ١٢٠٠
١٣٠٠ × V × ١٠ = ١٢٠٠
V١٣٠٠ = ١٢٠٠
وبالتالي يكون المعدل المطلوب لتدفق الهواء =

$V = \frac{١٢٠٠}{١٣٠٠} = ٠,٩$ متر مكعب/ثانية .



المـراجـع

أولا: المراجع العربية

أبو العينين، حسن سيد أحمد. *أصول الجغرافيا المناخية*، ط٣. بيروت: دار النهضة العربية للطباعة والنشر، (١٩٨٥م).

الإدارة العامة للأرصاد. *البيانات المناخية لمدينة الريـاض*. الرياض: وزارة الدفاع والطيران المدنـي، (١٩٨٨م).

الخولي، محمد بدر الدين. *المؤثرات المناخية والعمارة العربية*. بيروت: جامعة بيروت العربية، (١٩٧٥م).

المقرن، خالد بن عبدالله. «العزل الحراري للمباني»، *مجلة المهندس*، المجلـد الثاني (١٤٠٩هـ/ ١٩٨٩م)، العدد الأول، الرياض، ص ص٣٠ - ٤٠.

المؤسسة العامة للكهرباء. *العزل الحراري وفوائده في توفير الطاقة الكهربائية سواءً على المستهلك أو المنتج*. الرياض: المؤسسة العامة للكهرباء، (١٩٨٦م).

سعيد ،سعيد عبدالرحيم. «العزل الحراري في المبانـي»، *مجلة المهندس*، العدد الثاني، (١٩٨٧م) اللجنة الهندسية، الرياض، (١٩٨٧م)، ص ٦ ، ٧.

سعيد، سعيد عبدالرحيم. «متطلبات التظليل وتحديد زوايا الظلال واختيار التوجيه الأمثل للمبانـي والنوافذ في مدينة الريـاض»، *مجلة الدراسات الهندسية*، كلية الهندسة - جامعة الإمـارات، المجلد الرابع (١٩٩١م)، العدد الأول، ص ص ١ - ٢٩.

طالب، عبد المهدي. «تصميم نافذه لتقليل أشعة شمس الصيـف»، *مجلة المهندس*، المجلد الثانـي (١٤٠٩هـ / ١٩٨٩م)، العدد الثاني ص ٧٨ ، ٧٩.

فتحي، حسن: *الطاقة الطبيعية والعمارة التقليدية*، ط١. بيروت: المؤسسة العربية للدراسات والنشر (١٩٨٨م).

فرمان، عبدالسلام محمود. «زوايا الظلال للمباني في دولة الإمارات العربية المتحدة مع حد الوقاية من الشمس»، *مجلة الدراسات الهندسيـة*، كلية الهندسة - جامعة الإمارات، المجلد الثـانـي (١٤٠٩هـ/ ١٩٨٩م)، العدد الأول، ص ص ٩٩ - ١٢٤.

مصلحة الأرصاد - قسم المناخ. *البيانات المناخية لمدينة الرياض*. المملكة العربية السعودية: مصلحة الأرصاد (١٩٦٦ - ١٩٨١م).

ميرزا، سامي عبدالكريم. «دراسة ميدانية عن تقليص الفاقد في الطاقة الكهربائية»، *مجلة المهندس*، المجلد الثاني (١٤٠٩هـ/ ١٩٨٩م)، العدد الأول، الرياض، ص ص ٤٢ - ٤٩.

ثانيا: المراجع الإنجليزية

Aikas, E. and Piiron, P. "Thermal Exchange of the Human Body in Extreme Heat". *Tech. Report No AMRL TDR - 63 - 86*. Ohio, USA: Wright Patterson Air Force Base, (1963).

Al Megren, Kh. A. "Wind Towers for Passive Ventilation Cooling in Hot - Arid Regions". *Doctor Dissertation*, the University of Michigan, (1987).

Ambler, H. R. "Notes on the Climate of Nigeria with Reference to Personnel". *The Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 58 (1955), 99 - 112.

ASHRAE. Thermal Comfort Conditions. *ASHRAE Standards 55 - 66*, New York (1966).

ASHRAE. *ASHRAE GUIDE*. American Society of Heating, Ventilating and Air Conditioning Engineers, (1985).

Attia, M. and Khogali, M. *Set - Point Shift in Thermoregulatory Adaptation and Heat Stroke - Heat Stroke and Temperature Regulation*. London, New York: Academic Press, (1983).

Atkinson, G. A. "An Introduction to Tropical Building Design". *Architectural Design*, xxiii, (1953), 268 p.

Bedford, T. The Warmth Factor in Comfort at Work: A Physiological Study of Heating and Ventilation. *Industrial Health Board Report*, No. 76. HMSO, London, (1936).

Belding, H. S. and Hatch, T. F. "Index for Evaluating Heat Stress in Terms of Resulting Physiological Strain". *Heating, Piping, Air - Conditioning*, Vol. 27 (1955), 129.

Carroll, D. P. and Visser, J. "Direct Measurement of Convective Heat Loss From the Human Subject", *Rev. Sci. Inst.*, Vol. 37 (1966), 1174 -1180.

Critchfield, J. Housard. *General Climatology*, 2nd ed. New Jersey: Prentice - Hall, (1966).

Crowther, R. L. *Sun Earth*. New York: Charles Scribners Sons, (1977).

Deiter, Holm. *Energy Conservation in Hot Climates*. London: The Architectural Press, (1983).

Diamant, R. M. E. *Insulation of Building, Thermal and Acoustic*. London: Iliffe Books Ltd., (1965).

Dill, D. B. and Forbes, W. H. "Respiratory and Metabolic Effects of Hypothermia". *American Journal of Physiology*, Vol. 132 (1941), 685 - 694.

Drysdale, J. W. *Physiological Study* No 2, *Technical Study* 32., Commonwealth Exp. Blg. Station, Sydney, (1950).

Dufton, A. F. "The Equivalent Temperature of a Warmed Room". *JIHVE*, Vol. 4 (1936), 181 - 183.

Eliss, F. P. "Thermal Comfort in Warm Humid Atmospheres, Observations in a Warship in the Tropics". *Journal of Hygiene*, Cambridge, Vol. 50 (1950), 415 - 432.

Fanger, P. O. *Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering*. New York: McGraw - Hill, (1972).

Fisk, D. J. *Thermal Control of Buildings*. London and New Jersey: Applied Science Publishers, (1981).

Gagge, A. P.; Burton, A. C. and Bazelt, H. C. "A Practical System of Units for the Description of the Heat Exchange of Man with His Thermal Environment". *Science NY*, Vol. 94 (1941), 428 - 430.

Givoni, B. "Estimation of the Effect of Climate on Man, Development of a New Thermal Index". *Research Report to UNESCO*, Building Research Station, Technion, Haifa, (1963).

Givoni, B. *Man Climate and Architecture*, 2nd ed. London: Applied Science Publishers Ltd., (1981).

Givoni, B. "Ventilation Problems in Hot Countries", *Research Report to Ford Foundation*, Building Research Station, Technion, Haifa (1968).

Kealing, W. R. "Exceptional Case of Survival in Cold Water", *British Medical Journal*, 40 (1986), 171 - 172.

Kerslake, D. MCK. *The Stress of Hot Environments*. Cambridge, London: Cambridge University Press, (1972).

Koenigsberger, O.; Ingersoll, T.; Alan, May-hew and Szokolay, S. *Manual of Tropical Housing and Building*, Part 1: *Climatic Design*. London: Longman. (1973).

Konya, Allan. *Design Primer for Hot Climates*. London: The Architectural Press Ltd., (1984).

Kuehn, L. A.; Stubbs, R. A. and Weaver, R. S. "Theory of the Globe Thermometer". *J. Appl. Physiol.*, Vol. 29 (1970), 750 - 757.

MaCpherson , R. K. Studies in the Preferred Thermal Environment. *Architectural Science Review*, Vol. 6 , No 4 , (1963).

Markus, T. A. "Cost - benefit Analysis in Building Design , Problems and Solutions", *JAR* (1976) 22 - 33.

McAriel, B.; Dunham, W.; Holling, H. E.; Ladell, W.S.S.; Scot, J.W. ; Thomson, M. L. and Weiner, J. S. "The Prediction of the Physiological Effect of Warm and Hot Environments". *Med . Res . Council R.N.P.* 47 /39/. H.S. (1946/1947).

McCutchan, J. M. and Taylor, C. L. "Respiratory Heat Exchange with Varying Temperature and Humidity of Inspired Air". *A. F. Tech . Report*, No. 6023, Ohio, USA: Wright - Patterson Air Force Base, (1950).

Mclntyre, D. A. *Indoor Climate*. London: Applied Science Publishers Ltd., (1980).

Melaragno, M.G. *Wind in Architectural and Environmental Design*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, (1982).

Milne, M. and Givoni, B. Architectural Design Based on Climate, In. Donald Watson, N. Y. (Ed.); *Energy Conservation Through Building Design*. McGraw Hill Book Company, (1979), 97 - 113 .

Missenard, A. "On Thermally Equivalent Environments". *JIHVE*, Vol. 27 (1959), 231- 237.

Mitchell, D.; Wyndham, C. H.; Vermeulen, A. J.; Hodgson , T.; Atkins, A.R. and Hofmeyer, H.S. "Radiant and Convective Heat Transfer of Nude Men in Dry Air", *J.Appl. Physiol.*, Vol. 26 (1969), 111-118.

Mukhtar, Y. A. "Experimental Investigations into the Performance of Current Forms of Roofs in Northern Sudan", *Building Services Engineering Research and Technology*, Vol. 2 (1981), No. 3, 140 - 147.

Nishi, Y. and Gagge, A. P. "Direct Evaluation of Convective Heat Transfer, Coefficient by Naphthalene Sublimation". *J.Appl . Physiol.*, Vol .29 (1970), 830- 838.

Nishi, Y. and Gagge, A. P. "A Psychrometric Chart for Graphical Prediction of Comfort and Heat Tolerance". *ASHRAE Trans.*, Vol . 80 (1974), (2), 115 - 130 .

Norbert, Lechner. *Heating , Cooling and Lighting, Design Methods for Architects*, USA: John Wiley & Sons, (1991).

Olgyay, V. and Olgyay, A. *Design with Climate*, Princeton N. J.: Princeton University Press, (1963).

Perburry, P. *Building for Energy Conservation*. London: The Architectural Press Ltd., (1978).

Robertshow, David. *Contributing Factors to Heat Stroke , Heat Stroke and Temperature Regulation*. London , N.Y.: Academic Press, (1983).

Saeed, S. A. R. "Indoor Climate as a Function of Building Orientation". *International Journal of Ambient Energy*, London (1987), 41 - 47.

Saeed, S.A. R. Thermal Performance of Low - cost Housing with Special Reference to Central Sudan. *Ph.D. Thesis*, Strathclyde University, Glasgow, (1975).

Saeed, S. A. R. "Climate and Socioeconomic Influence on House Design, With Special Reference to the Hot Dry Regions of Saudi Arabia and Sudan". *Journal of King Saud University, Architecture and Planning*, Vol. 1, (1989), 37-55.

Shibolet, S; Lancaster , M. C. and Danon, Y. "Heat Stroke", *A Review. Space Environmental Med.*, 47 (1976), 280 - 301.

Saini, Balwant Singh. *Building in Hot Dry Climates*. Chichester, New York, Brisbane, Toronto: John Wiley & Sons, (1980) .

Szokolay, S. V. *Environmental Science Handbook for Architects and Builders*. Lancaster, London, New York: The Construction Press, (1980).

Szokolay, S. V. "Climate Analysis Based on the Psychrometric Chart". *The International Journal of Ambient Energy*, Vol. 7, No 4, Oct. (1986), 171 - 182 .

Tavassoli, Mahmood. *Urban Structure and Architecture in the Hot Arid Zone of Iran, Design for Arid Regions*. New York: Van Nostrand Reinhold, (1982).

Trewartha, G.T. *An Introduction to Climate*. N.Y.: McGraw-Hill, (1954).

Van Straaten, J. F. *Thermal Performance of Buildings, Architectural Science Series*. Amsterdam, London, New York: Elsevier Publishing Company, (1967).

Watson, D. *Climatic Design: Energy - Efficient Building Principles and Practice*. New York: McGraw Hill Book Company, (1983).

Webb, C. G. "An Analysis of some observations of Thermal Comfort in an Equatorial Climate", Brit. J. Industr. Med., Vol. 16 (1959), 297-310.

Weiss, E. G. A. "Air Conditioning and Working Efficiency", *Architectural Science Review*, Vol. 2 (1959), 68 - 76.

Winslow, C. E. A. "Objectives and Standards of Ventilation", *ASHVE Journal* , Vol . 32 (1926), 113 - 152.

ثبت المصطلحات

أولا: عربي - إنجليزي

ا

الإبهار	Glare
الاتزان الحراري	Thermal equilibrium
الإجهاد الحراري	Thermal stress
احتمال الموت نتيجة للبرودة الشديدة	Hypothermia
الارتفاع العمودي عن سطح البحر	Altitude
الإشعاع	Radiation
أشعة تحت الحمراء	Infra red rays
أشعة الشمس	Sunlight rays
الأفضل أو المثالي	Optimum
آلية التركيب	Mechanism
الامتصاصية	Absorptivity
الانبعاثية	Emissivity
الانحراف	Deviation
الأنسجة الداخلية	Deep tissues
انسياب	Flow
انسياب الهواء	Air Flow
الإيصال الحراري	Thermal conductance

ب

البقاء	Survival
البياني الحيوي المناخي	Bioclimatic chart
بياني خواص الهواء	Psychrometric chart
البيئة العمرانية	Built environment



التباطو التدريجي	Lag effect
التدرج في درجات الحرارة	Temperature gradient
التدرج في الضغط الجوي	Pressure gradient
التساقط	Percipitation
التشبع	Saturation
التشكيل والترتيب	Arrangement
التفاعل الحيوي - التمثيل الغذائي	Metabolic rate
التكثيف	Condensation
التهوية العرضية	Cross ventilation
التهوية العرضية المستحثة	Induced cross ventilation
التوصيل	Conduction
تيار الحَمْل	Convection current
تيار الحَمْل الحراري	Thermal convection current
تيار الحَمْل القسري	Forced convection current

جـ

جدار حامل	Bearing wall
جدار مفرغ	Cavity wall
جهاز التحكم في المناخ الحراري	Eupatheostat
جهاز تنظيم الحرارة	Thermoregulatory system
جهاز المحاكاة بالكهرباء	Electrical analog simulation

ح

الحبيبات	Grains
الحرارة الإشعاعية	Radiant heat
حرارة التبخر الكامنة	Latent heat of evaporation
حرارة التنفس	Respiratory heat
الحرارة الجوية الطبيعية	Normal atmospheric temperature
الحرارة النوعية	Specific heat

الحَمْل الحراري	Thermal convection
الحس الحراري	Thermal sensation
حفظ الحرارة	Heat storage

خ

الخرسانة الخلوية	Cellular concrete
الخرسانة الرغوية	Foamed concrete
الخصائص الحرارية الفيزيائية	Thermophysical properties

د

درجة حرارة الأنسجة الداخلية	Internal tissue temperature
درجة الحرارة الفعّالة المصححة	Corrected effective temperature
درجة الحرارة المطلقة	Absolute temperature
درجة الندى	Dew point
درجة حرارة الهواء	Dry bulb temperature
درجة حرارة الهواء المحيط	Ambient temperature
الدهانات المعدنية	Metalic paints

ر

راحة الإنسان الفسيولوجية	Physiological comfort
الراحة الحرارية	Thermal comfort
الرطوبة النسبية	Relative humidity
الرطوبة النوعية	Specific humidity
الرطوبة المطلقة	Absolute humidity
رقائق الألومنيوم	Aluminium foil

ز

زاوية الانحراف	Angle of declination
الزجاج الخازن للحرارة	Absorptive glass
الزجاج العاكس	Reflective glass
الزجاج الليفي	Fiber glass

س

Gaseous fluid	سائل غازي
Mat screen	ستارة من الحصير
Styro- foam	الستيروفوم
Suction	السَحْب

ص

Absolute zero	الصفر المطلق
Glass wool	الصوف الزجاجي

ط

Kinetic energy	الطاقة الحركية
Passive solar energy	الطاقة الشمسية السلبية
Claustra brick	الطوب الزخرفي
Spectrum	الطيف
Electro-magnetic spectrum	طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي

ع

Optical reflectivity	عاكسية الضوء
Lee ward	عكس اتجاه الريح
Meteorology	علم الأرصاد الجوي
Aerodynamics	علم الرياح
Climatology	علم المناخ
Climatic elements	العناصر المناخية

غ

Inert gas	الغاز الخامل
Cloud cover	غطاء السحب

ف

Over heated period	الفترة الحارة
Thermal loss	الفقدان الحراري
Galvanized steel	الفولاذ المجلفن
Heat flux	الفيض الحراري

ق

قياسي	Standard

ك

الكسب الحراري	Thermal gain

م

مادة غير منفذة للأشعة	Opaque material
المجموعة المؤتلفة	Combination
المحيط المريح	Comfortable environment
مدى	Range
المدى الحراري اليومي	Diurnal range
مركز التحكم في نشاط جسم الإنسان	Hypothalamus
مستوي التفاعل الحيوي	Metabolic level
مستويات الراحة الحرارية	Conditions of equal comfort
مستوى النظر	Eye-level
معامل العزل الحراري للملابس	Clo-value
معامل ارتباط	Correlation coefficient
معامل حجب الزجاج	Glass shading coefficient
معدل تدفق الحرارة	Rate of heat flow
معيار درجة الحرارة الفعّالة	Effective temperature index
معيار درجة الحرارة الفعالة القياسية	Standard effective temperature index
مقاومة السطح	Surface resistance
المعيار الشخصي للإحساس الحراري	Subjective temperature index
المقاومة الحرارية	Thermal resistance
المناخ المحلي أو الموضعي	Microclimate
المنافذة الحرارية	Thermal transmittance
المواد الليفية	Fibrous materials
الموجات الكهرومغناطيسية	Electro magnetic waves
الموصلية الحرارية	Thermal conductivity

ثانيا: إنجليزي - عربي

A

Absolute humidity	الرطوبة المطلقة
Absolute temperature	درجة الحرارة المطلقة
Absolute zero	الصفر المطلــق
Absorptivity	الامتصاصية
Absorptive glass	الزجاج الخازن للحرارة
Aerodynamics	علم الرياح
Air flow	انسياب الهواء
Altitude	الارتفاع العمودي عن سطح البحر
Aluminum foil	رقائق الألومنيوم
Ambient temperature	درجة حرارة الهواء المحيط
Angle of declination	زاوية الانحراف
Arrangement	التشكيل والترتيب

B

Bearing wall	جدار حامل
Bioclimatic chart	البياني الحيوي المناخي
Breeze	النسيم
Built environment	البيئة العمرانية

C

Cavity wall	جدار مفرغ
Cellular concrete	خرسانة خلوية ذات خلايا هوائية
Claustra brick	الطوب الزخرفي
Climatic elements	العناصر المناخية
Climatology	علم المناخ
Cloud cover	غطاء السحب
Clo - value	معامل العزل الحراري للملابس
Combination	مجموعة مؤتلفة

Comfortable environment	المحيط المريح
Condensation	تكثيف
Conditions of equal comfort	مستويات الراحة الحرارية المتماثلة
Conduction	التوصيل
Convection current	تيار الحَمْل
Corrected effective temperature	درجة الحرارة الفعالة المصححة
Correlation coefficient	معامل ارتباط
Cross ventilation	التهوية العرضية

D

Deep tissues	الأنسجة الداخلية
Deviation	الانحراف
Dew point	درجة الندى
Diurnal range	المدى الحراري اليومي
Dry bulb temperature	درجة حرارة الهواء
Dry bulb thermometer	ميزان الحرارة الجافة

E

Effective temperature index	معيار درجة الحرارة الفعّالة
Electrical analog simulation	جهاز المحاكاة بالكهرباء
Electro - magnetic spectrum	طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي
Electro - magnetic waves	الموجات الكهرومغناطيسية
Emissivity	الانبعاثية
Eupatheostat	جهاز التحكم في المناخ الحراري
Eye - level	مستوى النظر

F

Fiber glass	الزجاج الليفي
Fibrous materials	المواد الليفية
Flow	الانسياب

Foamed concrete	الخرسانة الرغوية
Forced convection current	تيار الحمل القسري
G	
Gaseous fluid	السائل الغازي
Galvanized steel	الفولاذ المجلفن
Glare	الإبـهار
Glass shading coefficient	معامل حَجْب الزجاج
Glass wool	الصوف الزجاجي
Grain	الحبيبات
H	
Heat capacity	السعة الحرارية
Heat flux	الفيض الحراري
Heat regulation mechanism	نظم ووسائل ضبط الحرارة
Heat sensation	الحس الحراري
Heat storage	حفظ الحرارة
Hypothalamus	مركز التحكم في نشاطات جسم الإنسان
Hypothermia	احتمال الموت نتيجة للبرد الشديد
I	
Induced cross ventilation	التهوية العرضية المستحثة
Inert gas	الغاز الخامل
Infra red rays	الأشعة تحت الحمراء
Inlet vent	فتحة دخول الهواء
Internal tissue temperature	درجة حرارة الأنسجة الداخلية
K	
Kinetic energy	طاقة حركية
L	
Lag effect	التباطؤ التدريجي
Latent heat of evaporation	حرارة التبخر الكامنة

Lee ward	عكس اتجاه الرياح

M

Mat screen	ستارة من الحصير
Mechanism	آلية أو تركيبة
Metabolic rate	التفاعل الحيوي - التمثيل غذائي
Metabolic level	مستوى التفاعل الحيوي
Metabolism	هضم الطعام أو التفاعل الحيوي
Metalic paints	الدهانات المعدنية
Meteorology	علم الأرصاد الجوي
Microclimate	المناخ المحلي أو الموضعي
Mineral wool	الصوف المعدني

N

Normal atmospheric temperature	الحرارة الجوية الطبيعية

O

Opaque material	مادة غير منفذة للأشعة
Optical reflectivity	عاكسية الضوء
Optimum	الأفضل أو المثالي
Out let window	نافذة خروج الهواء
Over heated period	الفترة الحارة

P

Passive solar energy	الطاقة الشمسية السلبية
Physiological comfort	راحة الإنسان الفسيولوجية
Percipitation	تعني جميع أنواع التساقط
Pressure gradient	التدرج في الضغط الجوي
Psychrometric chart	بياني خواص الهواء

R

Radiant heat	حرارة إشعاعية
Radiation	الإشعاع

Range	المدى
Rate of heat flow	معدل تدفق الحرارة
Reflective glass	الزجاج العاكس
Relative humidity	الرطوبة النسبية
Respiratory heat	حرارة التنفس

S

Saturation	التشبع
Shaft	ممر رأسي
specific heat	الحرارة النوعية
Specific humidity	الرطوبة النوعية
Spectrum	الطيف
Standard	القياسي
Standard effective temperature index	معيار درجة الحرارة الفعالة القياسية
Styro foam	الستيروفوم
Suction	السَحْب
Sunlight rays	أشعة الشمس
Subjective temperature index	المعيار الشخصي للإحساس بالحرارة
Surface resistance	مقاومة السطح
Survival	البقاء

T

Temperature gradient	التدرج في درجات الحرارة
Thermal comfort	الراحة الحرارية
Thermal conductance	الإيصال الحراري
Thermal conductivity	الموصلية الحرارية
Thermal convection current	تيار الحَمْل الحراري
Thermal equilibrium	الاتزان الحراري
Thermal gain	الكسب الحراري
Thermal loss	الفقدان الحراري

المقاومة الحرارية	Themal resistance
الإجهاد الحراري	Thermal stress
المنافذة الحرارية	Thermal transmittance
الخصائص الحرارية الفيزيائية	Thermophysical properties
جهاز تنظيم الحرارة	Thermoregulatory system

كشاف الموضوعات

الأستاذ الدكتور سعيد عبدالرحيم سعيد بن عوف

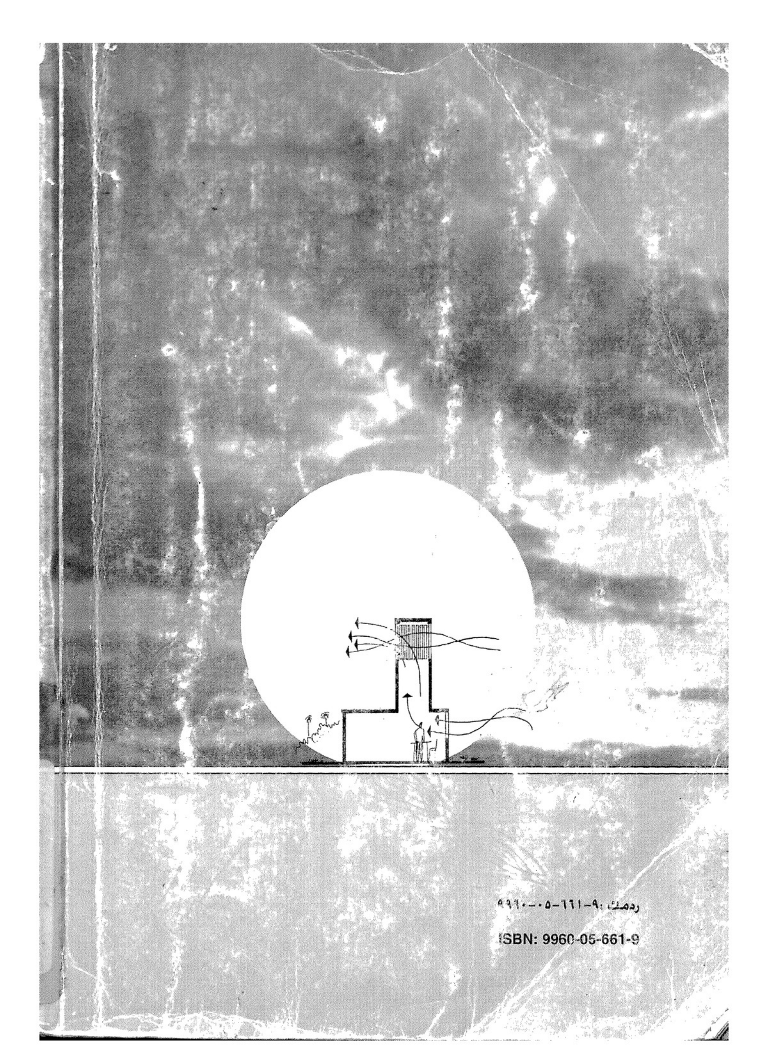
* ولد بمدينة عطبرة - الولاية الشمالية، السودان، سنة ١٩٤٣م.
* حصل على بكالوريوس الهندسة المعمارية من كلية الهندسة والمعمار - جامعة الخرطوم، ونال جائزة ميرغني حمزة، (١٩٦٣ - ١٩٦٩م).
* عمل مساعد تدريس بقسم المعمار - كلية الهندسة والمعمار - جامعة الخرطوم (١٩٦٩ - ١٩٧٠م).
* حصل على منحة من المجلس البريطاني للدراسة في الجامعات البريطانية (١٩٧٠م).
* حصل على دبلوم العمارة (١٩٧٠م - ١٩٧١م) تخصص إسكان من :

The Architectural Association, Department of Development and Tropical Studies, London.

* حصل على دكتوراه من قسم العمارة وعلوم البناء - جامعة استراثكلايد - جلاسجو - بريطانيا (١٩٧١م - ١٩٧٥م).
* عمل أستاذا مساعدا - كلية الهندسة والمعمار، جامعة الخرطوم (١٩٧٥م - ١٩٨٠م).
* عمل أستاذا مساعدا - كلية العمارة والتخطيط- جامعة الملك سعود -الرياض (١٩٨٠- ١٩٨٩م).
* عمل أستاذا مشاركا - كلية العمارة والتخطيط- جامعة الملك سعود - الرياض (١٩٨٩م - ١٩٩٧م).
* تمت ترقيته إلى درجة أستاذ بجامعة الملك سعود، ١٩٩٧م.
* يعمل منذ سبتمبر ١٩٩٧م عضوا بالهيئة التدريسية - كلية الهندسة - قسم الهندسة المدنية والمعمارية - جامعة البحرين.
* عمل مستشارا لقسم الطاقة والمباني- مدينة الملك عبدالعزيزللعلوم والتقنية (١٩٩٣-١٩٩٥م).
* شارك في العديد من المؤتمرات والندوات العلمية المحلية والعالمية.
* ممتحن خارجي بقسم العمارة - كلية الهندسة والعمارة جامعة الخرطوم لمدة عامين (١٩٩٣ - ١٩٩٤م).
* قام بنشر العديد من البحوث في المجلات العلمية المتخصصة في مجالات المناخ والعمارة،و ترشيد استهلاك الطاقة والعمارة، ومتطلبات الراحة الحرارية.
* أسهم في تأليف كتاب باللغة الإنجليزية بعنوان :

An Analytical Study of the Building Production Systems Recently Introduced in Saudi Arabia.

والذي طبع سنة ١٩٨٦م بمطبعة جامعة الملك سعود وبتمويل من مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية.


ردمك: ٩٩٦٠-٠٥-٦٦١-٩
ISBN: 9960-05-661-9